



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

DIEGO ZEUNER FAGUNDES SANTOS

CONTROLE DE LUMINOSIDADE DE ALTA EFICIÊNCIA, ADAPTÁVEL AO
AMBIENTE, UTILIZANDO LÂMPADA DE LED

Orientador: Prof^ª. Maria Marony Sousa Farias

Brasília
Junho, 2012

DIEGO ZEUNER FAGUNDES SANTOS

**CONTROLE DE LUMINOSIDADE DE ALTA EFICIÊNCIA, ADAPTÁVEL AO
AMBIENTE, UTILIZANDO LÂMPADA DE LED**

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília
(UniCEUB) como pré-requisito
para a obtenção de Certificado de
Conclusão de Curso de Engenharia
de Computação.

Orientador: Prof. Maria Marony
Sousa Farias

Brasília

Junho, 2012

DIEGO ZEUNER FAGUNDES SANTOS

**CONTROLE DE LUMINOSIDADE DE ALTA EFICIÊNCIA, ADAPTÁVEL AO
AMBIENTE, UTILIZANDO LÂMPADA DE LED**

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília
(UniCEUB) como pré-requisito
para a obtenção de Certificado de
Conclusão de Curso de Engenharia
de Computação.

Orientador: Prof. Maria Marony
Sousa Farias

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação,
e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas -
FATECS.

Prof. Abiezer Amarilia Fernandes
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^ª. Maria Marony Sousa Farias, MSc.
Orientador

José Julimá Bezerra Júnior, MSc.

Flavio Antonio Klein, MSc.

Marco Antônio de Oliveira Araújo, MSc.

Dedico este trabalho à minha família, que me deu muito apoio nos momentos mais difíceis da minha vida. Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado me incentivando. A minha professora e orientadora, por me ensinar que devemos sempre buscar o conhecimento, pois este está sempre se renovando. Em especial a minha avó Maria de Lourdes dos Santos, falecida neste ano, que sempre ensinou aos seus netos a fé e o verdadeiro amor, fazendo nossa família um exemplo de união, amor e fé.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar sempre me guiando pelos caminhos certos e me iluminando durante o desenvolvimento deste projeto, me dando força nos momentos em que mais precisei.

Ao meu pai Vaguino Luciano dos Santos e minha mãe Marta Fagundes, os quais sempre me ensinaram a importância e o valor do conhecimento, me incentivando e motivando cada vez mais a conquistar os meus objetivos.

À minha irmã, Bruna Luiza Zeuner Fagundes Santos, pelo carinho e força que me dá, por estarmos sempre juntos nos momentos mais importantes.

À minha grande família, pelo amor e apoio de sempre.

À professora e orientadora Maria Marony Sousa Farias por seu apoio e inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram a execução e conclusão desta monografia.

Aos meus amigos pelo incentivo que me deram durante todo o trabalho, tanto neste projeto quanto no nosso cotidiano.

Ao colega Claudiney Alves Moreira, pelo empréstimo do Kit de gravação para microcontroladores da família PIC.

SUMÁRIO

Conteúdo

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 –Motivação e Objetivos.....	1
1.2 –Estruturada Monografia.....	3
CAPÍTULO 2 – A ENERGIA ELÉTRICA E SUA IMPORTÂNCIA.....	4
2.1 – A importância da energia elétrica	4
2.2 – O consumo de energia elétrica no Brasil	4
2.3 – Eficiência Energética	5
2.4 – Programas de Eficiência Energética no Brasil.....	6
2.4.1 – PROCEL.....	6
2.4.2 – PEE	7
2.5 – Combate ao desperdício de energia elétrica com iluminação	8
2.6 – Luminotécnica	9
2.6.1 – Luz.....	9
2.6.2 – Fluxo Luminoso.....	10
2.6.3 – Eficácia luminosa.....	10
2.6.4 – Iluminância ou iluminamento	11
2.7 – Fontes de Luz Artificial.....	11
2.7.1 – Lâmpadas Incandescentes.....	12
2.7.2 – Lâmpadas Halógenas	13
2.7.2.1 – Características e Aplicações das Lâmpadas Halógenas.....	14
2.7.3 – Lâmpadas de Descarga – Fluorescente.....	16
2.7.4 – Lâmpadas de Led	19
2.7.4.1 – Led.....	19
2.7.4.2 – A lâmpada de LED.....	20
2.8 – A importância de uma boa iluminação.....	22

2.9 – Modulação por Largura de Pulso – PWM.....	23
CAPÍTULO 3 – FERRAMENTAS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	26
3.1 – Ferramentas de Hardware e Software utilizadas na Implementação do Sistema.....	26
3.1.1 – Microcontroladores.....	26
3.1.1.1 – A família de microcontroladores PIC.....	27
3.1.2 – PIC 16F877.....	28
3.1.2.1 – Pinagem do PIC 16F877.....	30
3.1.3 – Linguagem C.....	33
3.1.3.1 – Vantagens e desvantagens.....	33
3.1.4 – MikroC Prog para PIC.....	34
3.1.5 – MPLAB IDE.....	35
3.1.6 – Kit de Gravação MultiProg Plus Programador de Pic - ICD2.....	36
3.1.7 – PROTEUS ISIS Professional.....	37
3.1.8 – Fotômetros – Luxímetro	39
3.2 – Componentes Eletrônicos.....	40
3.2.1 – LDR.....	40
3.2.2 – Display LCD 2x16.....	41
3.2.3 – Acoplador ótico 4N25.....	44
CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTAÇÃO.....	46
4.1 – Testes para escolha do LDR.....	46
4.1.1 – Microcontroladores.....	52
4.2 – O Sistema de Controle de Luminosidade – Proposta Inicial.....	52
4.3 – O Sistema de Controle de Luminosidade – Desenvolvimento da Proposta Final.....	56
4.4 – A Implementação do Circuito Proposto.....	58
4.4.1 – Segmento de sincronismo do microcontrolador.....	59
4.4.2 – Segmento de exibição de dados.....	60
4.4.3 – Segmento de captação da luminosidade.....	62
4.4.4 – Segmento de acionamento e controle de luminosidade da lâmpada.....	64

4.5 – Alteração Final do Circuito Proposto.....	68
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E VALIDAÇÃO.....	71
5.1 – Validação do circuito final proposto.....	71
5.1.1 – Teste 1 - Ambiente com excesso de luminosidade.....	73
5.1.2 – Teste 2 - Ambiente com luminosidade insuficiente.....	74
5.1.3 – Teste 3 - Ambiente com luminosidade intermediária.....	76
5.1.4 – Teste 3 - Comentários Finais.....	77
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
6.1 – Conclusões.....	78
6.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros.....	78
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CAPÍTULO 8 – Apêndices.....	82
APÊNDICE A – Ajuste de Curvas.....	82
A.1– Ajuste de Curvas pelo método dos quadrados mínimos.....	82
A.2 – Ajuste de Curvas pelo método dos quadrados mínimos.....	82
A.3 – Ajustando os dados experimentais utilizando o método dos quadrados mínimos ajustado a uma hipérbole.....	85
A.4 – Ajuste de Curvas pelo método dos quadrados mínimos.....	93
APÊNDICE B – Código do programa.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Gráfico de consumo de energia elétrica em uma residência.....	5
Figura 2.2 – Logotipo programa PROCEL.....	7
Figura 2.3 – Logotipo programa PEE.....	8
Figura 2.4 – Espectro Eletromagnético.....	9
Figura 2.5 – Fontes de luz artificial.....	12
Figura 2.6 – (a) Componentes de uma Lâmpada Incandescente, (b) circuito elétrico residencial simplificado.....	13
Figura 2.7 – Lâmpada Halógena Dicróica.....	14
Figura 2.8 – Lâmpada Halógena HA Plus Line.....	15
Figura 2.9 – Lâmpada Par Halógena.....	16
Figura 2.10 – Lâmpada Fluorescente.....	17
Figura 2.11 – Lâmpada Mista.....	17
Figura 2.12 – Lâmpada Econômica.....	19
Figura 2.13 – Lâmpada de LED.....	20
Figura 2.14 – Benefícios da iluminação com Led.....	22
Figura 2.15 – Exemplificação de formas de onda PWM.....	23
Figura 3.1 – Dimensionamento da família PIC – funcionalidade <i>versus</i> desempenho	28
Figura 3.2 – PIC 16F877.....	30
Figura 3.3 – Pinagem PIC 16F877.....	31
Figura 3.4 – Interface gráfica MIkroC Prog versão 4.60.....	34
Figura 3.5 – MPLAB IDE versão 8.85.....	35
Figura 3.6 – MultiPROG Plus ICD2.....	36
Figura 3.7 – Área gráfica de desenvolvimento do Proteus.....	39
Figura 3.8 – Luxímetro Digital LX1010B.....	40
Figura 3.9 – Simbologia e Aspectos de um LDR.....	41
Figura 3.10 – Display LCD 2x16.....	44
Figura 3.11 – Símbolo e pinagem do Acoplador 4N25.....	45
Figura 4.1 – Bancada de testes com lâmpadas acesas (vista de cima).....	47
Figura 4.2 – Bancada de testes com lâmpadas acesas (vista de frente).....	48
Figura 4.3 – Topologia proposta inicialmente para o projeto.....	53
Figura 4.4 – Diagrama esquemático proposta inicial.....	55

Figura 4.5 – Diagrama de blocos do controle de luminosidade utilizando PWM e lâmpada diodica de 12 V.....	56
Figura 4.6 – Diagrama esquemático do circuito para controle de luminosidade com lâmpada diodica de 12 V.....	57
Figura 4.7 – Associação dos pinos do microcontrolador com os dispositivos do projeto.....	59
Figura 4.8 – Segmento de sincronismo	60
Figura 4.9 – Segmento de exibição de dados	62
Figura 4.10 – Segmento de captação da luminosidade.....	63
Figura 4.11 – Segmento de acionamento e controle de luminosidade da lâmpada.....	64
Figura 4.12 – Testes para relação entre resistência do LDR e iluminamento.....	67
Figura 4.13 – Testes com a fonte de 12 V do laboratório.....	68
Figura 4.14 – Esquemático do Sistema de Controle de Luminosidade.....	69
Figura 4.15 – Circuito final proposto.....	70
Figura 5.1 – Circuito final proposto - hardware.....	71
Figura 5.2 – Mensagem inicial do circuito.....	72
Figura 5.3 – Escolha do iluminamento.....	72
Figura 5.4 – Mensagem mostrada no Display LCD após o iluminamento escolhido.....	73
Figura 5.5 – Circuito com luminosidade excessiva sobre o LDR.....	74
Figura 5.6 – Circuito com luminosidade insuficiente sobre o LDR.....	75
Figura 5.7 – Circuito com luminosidade insuficiente sobre o LDR.....	75
Figura 5.8 – Circuito com luminosidade intermediária sobre o LDR.....	76
Figura 5.9 – Circuito com luminosidade intermediária sobre o LDR – luminosidade emitida pela lâmpada LED.....	77
Figura A.1 – Distância de um ponto (x_i, y_i) à reta $y = a + bx$	83
Figura A.2 – Gráfico dos pontos tensão <i>versus</i> resistência.....	85
Figura A.3 – Resolução do sistema de equações utilizando o software Maxima.....	87
Figura A.4 – Ajuste da curva entre tensão <i>versus</i> resistência utilizando o software GeoGebra.....	88
Figura A.5 – Curva de iluminamento <i>versus</i> resistência LDR pequeno.....	89
Figura A.6 – Curva de iluminamento <i>versus</i> tensão LDR pequeno.....	89
Figura A.7 – Curva de tensão <i>versus</i> resistência LDR pequeno.....	90
Figura A.8 – Curva de iluminamento <i>versus</i> resistência LDR médio.....	90
Figura A.9 – Curva de iluminamento <i>versus</i> tensão LDR médio.....	91

Figura A.10 – Curva de tensão <i>versus</i> resistência LDR médio.....	91
Figura A.11 – Curva de iluminamento <i>versus</i> resistência LDR grande.....	92
Figura A.12 – Curva de iluminamento <i>versus</i> tensão LDR grande.....	92
Figura A.13 – Curva de tensão <i>versus</i> resistência LDR grande.....	93
Figura A.14 – Curva de tensão <i>versus</i> resistência LDR médio.....	91
Figura A.15 – Curva de tensão <i>versus</i> resistência LDR médio.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ambientes e os devidos iluminamentos	11
Tabela 2 – Significado das nomenclaturas dos pinos do PIC16F877.....	31
Tabela 3 – Pinagem dos mostradores LCD	42
Tabela 4 – Dados experimentais do LDR pequeno	49
Tabela 5 – Dados experimentais do LDR médio.....	50
Tabela 6 – Dados experimentais do LDR grande.....	51
Tabela 7 – Associação dos pinos do microcontrolador com os dispositivos do projeto	58
Tabela 8 – Relação entre iluminação e resistência.....	65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Função do valor da tensão média	24
Equação 2.2 – Função da tensão no tempo.....	24
Equação 2.3 – Função do valor da tensão média com sinal PWM.....	24
Equação A.1 – Soma dos quadrados entre pontos experimentais e a reta $y = a + bx$	83
Equação A.2 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “a”	83
Equação A.3 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “b”	83
Equação A.4 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “a” com somatórios.....	84
Equação A.5 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “b” com somatórios	84
Equação A.6 – Sistema de equações com as derivadas parciais	84
Equação A.7 – Função de ajuste a uma Hipérbole	84
Equação A.8 – Inverso da função de ajuste a uma Hipérbole	85
Equação A.9 – Sistema de equações com as derivadas parciais	85
Equação A.10 – Somatórios dos dados experimentais	86
Equação A. 11 – Sistema de equações com os somatórios dos dados experimentais	86
Equação A.12 – Função de ajuste a uma Hipérbole.....	87
Equação A.13 – Função de relação entre tensão <i>versus</i> resistência	87
Equação A.14 – Função de relação entre iluminamento <i>versus</i> resistência LDR pequeno.....	93
Equação A.15 – Função de relação entre iluminamento <i>versus</i> tensão LDR pequeno	93
Equação A.16 – Função de relação entre tensão <i>versus</i> resistência LDR pequeno.....	94
Equação A.17 – Função de relação entre iluminamento <i>versus</i> resistência LDR médio	94
Equação A.18 – Função de relação entre iluminamento <i>versus</i> tensão LDR médio.....	94
Equação A.19 – Função de relação entre tensão <i>versus</i> resistência LDR médio	94
Equação A.20 – Função de relação entre iluminamento <i>versus</i> resistência LDR grande	94
Equação A.21 – Função de relação entre iluminamento <i>versus</i> tensão LDR grande.....	95
Equação A.22 – Função de relação entre tensão <i>versus</i> resistência LDR grande	95

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um projeto de controle de luminosidade, adaptável ao ambiente utilizando lâmpada de LED. Com isso, procura-se demonstrar uma possibilidade de uso mais eficiente da energia elétrica, no que diz respeito à iluminação, por meio do controle da luminosidade, evitando assim, ambientes com luminosidade excessiva ou insuficiente, aproveitando a iluminação natural. O ajuste da luminosidade é feito da seguinte forma: a luminosidade é ajustada para ficar aproximadamente constante em torno de um valor especificado por programação (em lux). A luminosidade aumenta automaticamente à medida que o ambiente vai escurecendo e diminui à medida que a luminosidade natural vai aumentando, evitando desperdício de energia. O controle de luminosidade é realizado pelo uso de sensor e do microcontrolador PIC16F877. O sensor de luminosidade utilizado foi o LDR (*Light Dependant Resistor*). O microcontrolador é utilizado para realizar as leituras do sensor e ajustar a luminosidade ambiente, pelo ajuste da potência entregue à lâmpada. Para realizar o controle da potência na lâmpada e assim controlar sua luminosidade, foi utilizada a modulação por largura de pulso, PWM (*Pulse Wide Modulation*). A alta eficiência energética proposta neste trabalho advém da economia obtida com o uso da lâmpada LED (baixo consumo) e do controle da luminosidade por meio de sensor, PWM e microcontrolador. Dessa forma, o presente trabalho procura demonstrar por meio de elaboração de um protótipo a possibilidade de refletir sobre a promoção de atitudes sustentáveis quanto ao consumo de energia elétrica, contribuindo para a reflexão sobre o consumo sustentável aliado ao combate ao desperdício.

Palavras Chave: Eficiência energética, controle de luminosidade, lâmpada de LED.

ABSTRACT

This paper presents a luminosity control project, adaptable to the environment by using LED lamp. With this, it seek to demonstrate a possibility of more efficient use of electricity, in respect to lighting, by controlling the lighting, avoiding environments with excessive or insufficient lighting, taking advantage of natural lighting. The brightness adjustment is done as follows: the luminance is adjusted to be approximately constant at around specified by programming a value (in lux). The brightness increases automatically as the environment is dark and decreases as the natural luminosity increases, thus avoiding waste of energy. The brightness control is accomplished by using sensor and the microcontroller PIC16F877. The light sensor used was LDR (Light Dependant resistor). The microcontroller is used to make readings of the sensor and adjust the light intensity by adjusting the power delivered to the lamp. To make the control of the lamp potency and so control its luminosity, it was used the pulse width modulation, PWM (Pulse Wide Modulation). The high energy efficiency proposed in this paper comes from savings achieved through the use of LED (low power) and the control of light by a sensor, microcontroller and PWM. Therefore, this paper seeks to demonstrate through the development of a prototype the possibility of reflect on the promotion of sustainable attitudes regarding energy consumption, contributing to the debate on sustainable consumption allied to combat waste.

Keywords: energy efficiency, light control, LED lamp.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O crescente consumo e a busca pelo uso racional de energia é uma realidade nas principais nações do mundo. Preocupação entre os países de Primeiro Mundo, a energia, bem como o melhor aproveitamento dos recursos naturais, também tem sido alvo de atenção entre os brasileiros, especialmente após a crise energética de 2001, que surpreendeu a população com o memorável blecaute. Foi a partir desse evento, que o governo brasileiro se viu obrigado a tomar medidas eficientes visando à expansão da capacidade energética e sua adequada limitação, nos casos em que a população precisava ser conscientizada sobre a melhor maneira de empregar tal recurso em residências (MORISHITA, 2011).

No que diz respeito ao consumo de energia elétrica em residências, segundo dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), a iluminação é responsável por cerca de 24% do consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiro, ficando apenas atrás de sistemas de refrigeração e aquecimento de água (EPE, 2012).

A iluminação é um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica em edificações. Além do que, é, dentre os responsáveis pelo consumo nas residências e edificações em geral, aquele item que permite maior facilidade de redução de consumo frente ao forte desenvolvimento tecnológico dos componentes de sistemas de iluminação verificados nos últimos anos. E permite também, além da redução do consumo, a correção de eventuais falhas no sistema e nos níveis de iluminação no que diz respeito ao atendimento de normativas da ABNT.

No Brasil, há um grande potencial para economia de energia nos sistemas de iluminação e aumento da qualidade dos sistemas em funcionamento, principalmente, pelo uso intensivo de equipamentos de iluminação com tecnologias ultrapassadas, tais como, lâmpadas fluorescentes tubulares comuns de 20 W e 40 W, reatores eletromagnéticos e lâmpadas incandescentes (ARAÚJO, 2009).

1.1 Motivação e Objetivos

Com o crescente consumo de energia elétrica nas residências, provocado pelo aumento da renda, notadamente da população de baixa renda; aumento da quantidade de domicílios e aumento da ligação daqueles que não eram atendidos por redes elétricas; utilização de

reservas financeiras para compra de eletrodomésticos; queda do nível de desemprego entre outros fatores; se faz necessário à utilização de equipamentos que promovam o uso eficiente da energia elétrica, principalmente no que diz respeito à projetos de iluminação. Pois, conforme visto anteriormente, esta é responsável por 24 % do consumo de energia elétrica nas residências.

Neste projeto é apresentada uma iniciativa para automação de um sistema de iluminação, mais eficiente, agregando o uso de sensor de luminosidade, microcontrolador e controle de potência das lâmpadas.

Por meio da variação da potência entregue às lâmpadas é possível variar sua luminosidade e assim reduzir o consumo desnecessário de energia, além de manter a luminosidade do ambiente dentro de um padrão de luminosidade adequado, nem excessivo, nem insuficiente.

Desta forma, com este projeto, é possível adaptar a luminosidade emitida pela lâmpada de acordo com a luminosidade natural incidente, evitando desperdícios pelo uso desnecessário de iluminação artificial.

Em função do cenário apresentado, este trabalho tem como objetivo geral implementar um sistema de controle de luminosidade de lâmpadas, que se adapte à luminosidade de um ambiente, por meio do ajuste de potência das lâmpadas, mantendo desta forma a luminosidade ambiente constante e num nível correto de acordo com estudos de luminotécnica. Como objetivos específicos, tem-se:

- Construir um protótipo para validação, em escala reduzida, de um sistema de controle de luminosidade adaptável, por meio da captação da luminosidade do ambiente através de um sensor. Os dados obtidos pelo sensor são enviados a um microcontrolador, onde são comparados com valores pré-estabelecidos. Esta comparação permite ao microcontrolador, por meio de software, estabelecer o ajuste necessário para variação da potência da lâmpada e consequente variação de sua luminosidade.
- Contribuir para a redução de consumo de energia elétrica de diversos ambientes, mas também proporcionar um ambiente com maior conforto, fornecendo uma luminosidade adequada, sem excesso ou insuficiência de luz.

Neste projeto, não é abordado um estudo comparativo entre o sistema convencional e o sistema aqui proposto, para estabelecer qual a efetiva diminuição do consumo de energia elétrica. Para isso, seria necessária a construção de dois protótipos, um com o circuito aqui proposto e outro convencional, com medidores de energia em ambos, durante igual período de tempo. No entanto, a efetividade da solução, pode ser comprovada por meio da medição de corrente na lâmpada, com um amperímetro, permitindo visualizar a diminuição de corrente; portanto, de potência do circuito como um todo, quando o sistema estiver no modo com controle de luminosidade. Também não faz parte do escopo deste projeto, o levantamento econômico do retorno gerado pela economia de energia proporcionada pela solução proposta. Ficando essa parte, como proposta para projetos futuros.

1.2 – Estrutura da Monografia

A presente monografia está estruturada em 6 capítulos, que apresentam o conteúdo descrito a seguir:

No capítulo 1 (um), encontra-se a introdução do trabalho, onde é feita uma apresentação geral do tema, com a exposição do problema a ser solucionado, sua relevância e os objetivos propostos.

O capítulo 2 (dois) é dedicado à apresentação de dados sobre o consumo de energia elétrica no Brasil, conceito de eficiência energética, bem como a citação de programas brasileiros para a promoção da eficiência energética. Além disso, neste capítulo são apresentados conceitos básicos de luminotécnica utilizados neste trabalho, bem como os tipos de lâmpadas existentes.

O capítulo 3 (três) dá ênfase as principais ferramentas de hardware e software utilizadas no projeto.

O capítulo 4 (quatro) por sua vez, mostra os detalhes práticos da implementação, desde a modelagem do sistema, a descrição técnica dos recursos utilizados, o programa de computador desenvolvido e a montagem do protótipo.

Já o capítulo 5 (cinco) demonstra os resultados alcançados com o funcionamento do protótipo e sua validação.

Por fim, no capítulo 6 (seis) traz-se a conclusão do trabalho realizado, complementando a pesquisa acadêmica com sugestões para a realização de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – A energia elétrica e sua importância

2.1 – A importância da energia elétrica

A energia elétrica foi denominada como principal impulsionadora do desenvolvimento da humanidade, tornando-se a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno. É uma das formas de energia mais utilizadas pela humanidade, devido sua facilidade de transporte e baixo índice de perda energética durante as transmissões.

Nas atividades domiciliares facilitou as principais tarefas, permitindo a utilização de eletrodomésticos, entre diversos outros aparelhos. Nos edifícios comerciais a eletricidade é utilizada principalmente para o funcionamento de elevadores, escadas rolantes, computadores. Grande parte dos avanços tecnológicos que alcançamos se deve à energia elétrica.

2.2 – O consumo de energia elétrica no Brasil

No mês de janeiro de 2012, o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou 1,6% em relação ao mesmo período do ano passado. Neste período, a população brasileira consumiu aproximadamente 36,2 mil gigawatts-hora (GWh). As informações são da edição de fevereiro do informativo mensal sobre o mercado de energia publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Segundo o informativo, a EPE é responsável por divulgar a projeção do consumo de energia elétrica no país, diante disto a previsão para o ano de 2012 é de que o consumo na rede atinja 450 TWh, representando um aumento de 4,5% em relação ao ano anterior.

Nas residências brasileiras a quantidade de energia elétrica consumida em janeiro de 2012 foi ligeiramente menor do que a registrada em 2011 (queda de 0,3%), isso se deve principalmente pelo fato da migração do consumo de condomínios residenciais para a classe comercial, de acordo com a Resolução Normativa 414/2010 da Aneel.

Percebe-se que a utilização de energia elétrica nos domicílios brasileiros é alta quando se trata de aparelhos designados a iluminação. A figura 2.1 ilustra o gráfico de consumo de eletricidade em uma residência, com 24% a iluminação só fica atrás de sistemas de refrigeração e aquecimento de água. Destacando a importância de sistemas que diminuam o desperdício de energia elétrica em residências.

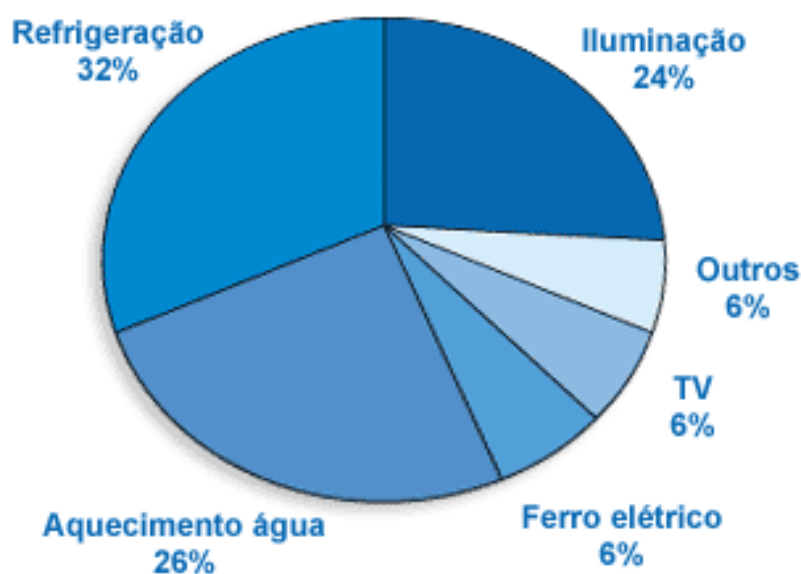


Figura 2.1 – Gráfico de consumo de energia elétrica em uma residência.

Fonte:

<http://www.celpe.com.br/O%20SETOR%20ELETRICO/ENERGIA%20ALTERNATIVA/SOLAR/37728%3B45983%3B100102%3B0%3B0.asp?c=101>

2.3 – Eficiência Energética

Eficiência energética é uma atividade que procura otimizar o uso das fontes de energia. A utilização racional de energia, às vezes chamada simplesmente de eficiência energética, consiste em usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético. Nesse contexto, a diminuição dos custos e a eliminação de desperdícios sem perda da qualidade de seus produtos tem sido uma busca das empresas. (SEBRAE, 2012)

De acordo com a Lei n.º 9.991/2000, todas as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica são obrigadas a aplicar parte de sua receita operacional líquida em pesquisas do setor elétrico e em programas de eficiência energética, estes são desenvolvidos para minimizar o desperdício de energia elétrica, reduzir o consumo e a demanda no horário de ponta, favorecer a sociedade direta e indiretamente, por meio da redução de custos, economia de energia, entre outros.

Além do benefício na correta utilização da energia elétrica, os projetos de eficiência energética contribuem para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, já que os recursos

economizados com energia poderão ser investidos em saúde, educação e lazer. O meio ambiente também é favorecido com estas medidas.

2.4 – Programas de Eficiência Energética no Brasil

2.4.1 – PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL (vide logotipo, figura 2.2) foi criado em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, e gerido por uma Secretaria Executiva subordinada à Eletrobras. Em 1991, o Procel foi transformado em Programa de Governo, tendo abrangência e responsabilidade ampliadas.

A missão do Procel é “promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e eficiência dos bens e serviços, reduzindo os impactos ambientais”.

Para cumprir sua missão, utiliza recursos da Eletrobras e da Reserva Global de Reversão – RGR, fundo federal constituído com recursos das concessionárias. Utiliza, também, recursos de entidades nacionais e internacionais cujos propósitos estejam alinhados com seus objetivos.

O objetivo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. (PROCELINFO,2012)



Figura 2.2– Logotipo programa PROCEL (PROCELINFO, 2012)

2.4.2 – PEE

O Programa desenvolvido pela ANEEL estabelece obrigações e encargos perante o poder concedente dos contratos firmados pelas empresas concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica. Uma dessas obrigações consiste em aplicar anualmente o montante de, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida em ações que tenham por objetivo o combate ao desperdício de energia elétrica, o que consiste no Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição – PEE, vide logotipo mostrado na figura 2.3.

Para o cumprimento desta obrigação as distribuidoras devem apresentar à ANEEL a qualquer tempo, por meio de arquivos eletrônicos, projetos de Eficiência Energética e Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, observadas as diretrizes estabelecidas para a sua elaboração. (ANEEL, 2012)



Figura 2.3 – Logotipo programa PEE (ANEEL, 2012)

2.5 – Combate ao desperdício de energia elétrica com iluminação

Para utilização racional da energia elétrica, tanto os consumidores como os diversos segmentos da sociedade, podem contribuir para que estas previsões de aumento de consumo de energia não sofram alterações, buscando o consumo eficiente da energia, tanto dentro de casa como no local de trabalho e em outros ambientes. O conceito de eficiência de uma instalação está ligado não só ao projeto, mas também à sua utilização, ou seja, um sistema de elevada eficiência é aquele que fornece a quantidade de luz exata no lugar correto, na hora certa.

A iluminação representa uma fração considerável no consumo de energia elétrica tanto no serviço público como em instalações residenciais, comerciais e industriais, sendo assim, é de fundamental importância ter sistemas de iluminação eficientes.

Uma das necessidades encontra-se no monitoramento da luminosidade de ambientes. Existem sistemas inteligentes que proporcionam o acionamento de circuitos de iluminação utilizando células Fotoelétricas, a fim de controlar o período em que as lâmpadas permanecem ligadas. Neste, o sensor só aciona a lâmpada se o nível de luminosidade estiver abaixo de um determinado nível.

A desvantagem deste tipo de sensor é a sua confiabilidade, pois nos sistemas, onde o mesmo é utilizado, é comum lâmpadas apagadas ou acesas o tempo todo.

Neste projeto, apresenta-se a implementação de um sistema de controle de luminosidade de ambientes, tanto internos quanto externos, utilizando foto-resistor, conectado

a um sistema microcontrolado, que atua diretamente nas lâmpadas, aumentando ou diminuindo sua intensidade, de acordo com as informações obtidas pelos sensores, obtendo assim um sistema mais confiável, flexível e econômico.

A seguir, são apresentados conceitos básicos de luminotécnica utilizados ao longo deste trabalho.

2.6 – Luminotécnica

Para o uso da energia elétrica de forma eficiente em sistemas de iluminação é preciso realizar o estudo das condições do ambiente e tarefas que ali serão executadas. A luminotécnica é o estudo da aplicação de iluminação artificial em espaços interiores e exteriores.

2.6.1 – Luz

A luz é a radiação eletromagnética gerada por uma fonte de radiação, capaz de produzir uma sensação visual, possui diferentes comprimentos, sendo apenas alguns sensíveis ao olho humano.

O espectro visível pode ser dividido em números de faixas de comprimento de onda, onde cada uma causa uma impressão de cor ao olho humano, conforme mostrado na figura 2.4.

As faixas são:

- 380 a 436 nm: violeta;
- 436 a 495 nm: azul;
- 495 a 566 nm: verde;
- 566 a 589 nm: amarelo;
- 589 a 627 nm: laranja;
- 627 a 780 nm: vermelho.

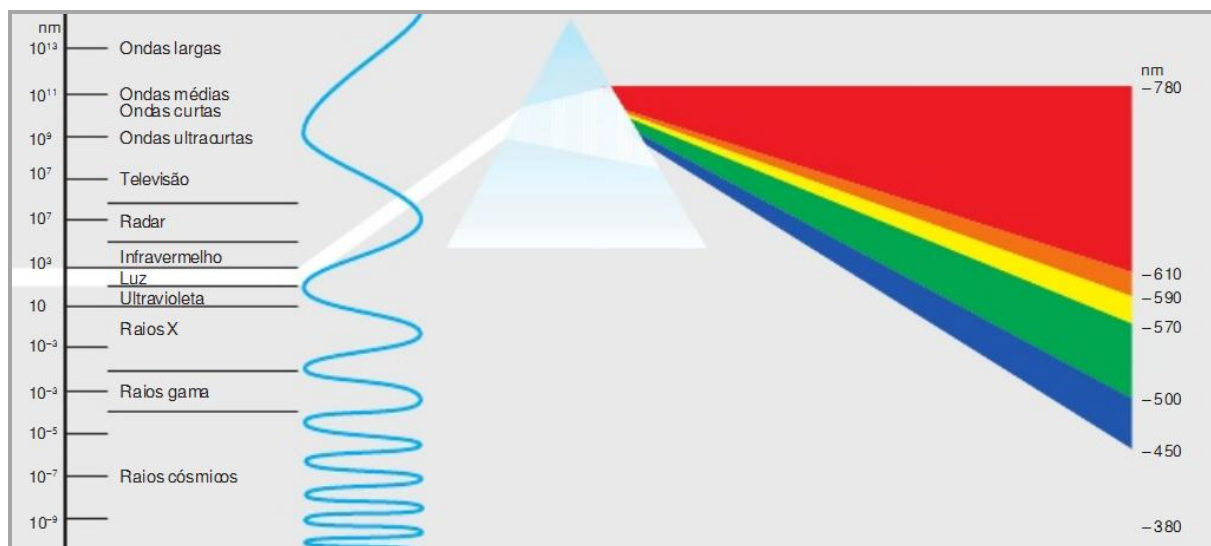


Figura 2.4 - Espectro Eletromagnético (OSRAM,2012)

2.6.2 – Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. É definido como a quantidade total de luz emitida por segundo, cuja unidade de medida é em lumens.

As lâmpadas conforme seu tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:

- lâmpada incandescente de 100 W: 1000 lm;
- lâmpada fluorescente de 40 W: 1700 a 3250 lm;
- lâmpada vapor de mercúrio 250W: 12.700 lm;
- lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 17.000 lm

2.6.3 – Eficácia luminosa

A eficácia luminosa é a razão do fluxo luminoso para o fluxo radiante correspondente. Refere-se à qualidade de uma fonte de radiação ser eficaz quanto à possibilidade de produzir uma sensação luminosa.

- lâmpada incandescente de 100W: 10 lm/W
- lâmpada fluorescente de 40 W: 42,5 lm/W a 81,5 lm/W.
- lâmpada vapor de mercúrio de 250W: 50 lm/W
- lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 68 lm/W

2.6.4 – Iluminância ou iluminamento

É o limite da razão entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide; ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade é o lux (lx), definido como o iluminamento de uma superfície que varia de 0,75 a 1 m recebendo de uma fonte puntiforme, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído. (LUZ, 2012).

Tabela 1 – Ambientes e o devido iluminamento

Ambiente	Local	Iluminamento (lux)
Bibliotecas	Salas de leituras	500
	Estantes	300
Escolas / Faculdades	Salas de aulas	300
	Laboratório	500
Escritórios	Sala de Reunião	300
Hospital	Geral	150
	Mesa de Trabalho	500
Restaurantes	-	150

Fonte: ABNT, 2012

Neste projeto é considerado o nível de iluminamento como parâmetro para o controle de luminosidade do ambiente, seguindo os critérios da luminotécnica e os valores estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), na NBR 5413. Na tabela 1 podem ser observados alguns valores padronizados pela norma NBR 5413 e os respectivos ambientes. No próximo tópico são abordadas as principais fontes de luz artificial.

2.7 – Fontes de Luz Artificial

“Das fontes de luz artificial, as lâmpadas elétricas são, sem dúvida, as que apresentam maior eficiência e possibilidades ilimitadas de se obter ambientes acolhedores e confortáveis. As lâmpadas elétricas atuais são agrupadas em dois tipos principais:” (CAVALIN; CEVELIN, 2005).

- Incandescentes; e de
- Descarga.

Na figura 2.5 são mostrados os dois tipos especificados.



Figura 2.5 – Fontes de luz artificial

Fonte: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/lampadas-economicas-gasto-energia-sua-conta-luz-597380.shtml> (2012)

2.7.1 – Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente foi inventada em 1879 por Thomas Alva Edison, sendo o tipo de lâmpada mais usado no século passado, composta por quatro principais partes: o filamento, o bulbo, o gás e a base. (CHESMAN, MACEDO, ANDRE, 2004).

Nas lâmpadas modernas o filamento é feito de tungstênio, por ter um ponto elevado de fusão e um ponto baixo de evaporação. Quanto maior for a temperatura, maior será a proporção de energia radiada na região visível e consequentemente maior será sua eficácia.

Este filamento é colocado em um invólucro de vidro selado, o bulbo na maioria das vezes transparente, podendo ser encontrado em grande variedade de formas, vide figura 2.6.

A redução da evaporação do filamento é obtida com a ajuda de um gás inerte, os gases mais utilizados são o nitrogênio e o argônio.

A base tem por finalidade fixar mecanicamente a lâmpada em seu suporte e completar a ligação elétrica ao circuito de iluminação, sendo comumente desenvolvida no formato de rosca, tipo Edison.

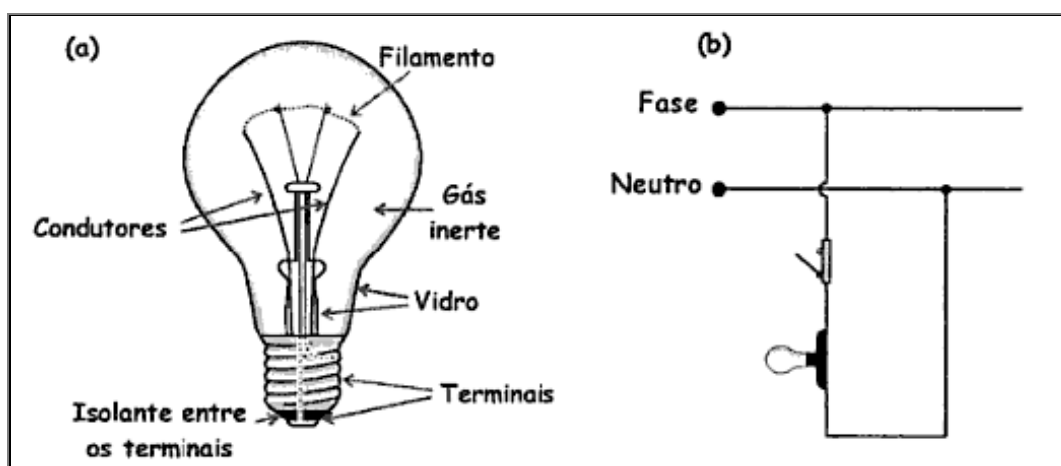


Figura 2.6 – (a) Componentes de uma Lâmpada Incandescente, (b) circuito elétrico residencial simplificado (CHESMAN, MACEDO, ANDRE, 2004).

Apesar de ser uma lâmpada que consome muita energia elétrica, ainda é vista em grande quantidade em casas brasileiras, devido ao seu pequeno valor no mercado. Em alguns países esse tipo de lâmpada foi proibido, devido ao seu consumo excessivo.

2.7.2 – Lâmpadas Halógenas

As lâmpadas halógenas fazem parte da família das lâmpadas incandescentes, e de acordo com a aplicação podem ser encontradas em dois formatos: Tipo “lapiseira” ou tipo “palito” e com refletor dicróico. Halogênio significa “formador de gás”, (“halo” – gás e “gênio” – formador). Os elementos químicos que fazem parte da família dos halogênios são: o cloro, o bromo, o flúor e o iodo. Nas lâmpadas halógenas, além dos gases inertes de enchimento, semelhante às lâmpadas incandescentes comuns, é introduzida uma determinada quantidade de elementos halógenos, normalmente o bromo ou o iodo, numa ampola de quartzo. (CAVALIN;CEVELIN, 2005, p.57).

O funcionamento da lâmpada halógena é semelhante ao de uma lâmpada incandescente comum, tendo como característica o “ciclo halógeno”, cuja finalidade é regenerar o filamento.

O “ciclo halógeno” se processa da seguinte forma:

1. A lâmpada é acesa.
2. O “ciclo halógeno” permite trabalhar com temperatura mais elevadas (2800°C) no filamento de tungstênio.

3. Ocorre a volatilização do tungstênio e as partículas procuram as partes mais frias.
4. As partículas, que se encontram numa região cuja temperatura esta em torno de 250°C, combinam-se com o halogênio, formando o haleto, iodeto ou brometo de tungstênio, conforme o gás que existe internamente.
5. O iodeto, na forma de gás, acompanha a corrente de convecção interna da lâmpada, retornando ao filamento. Nesse momento, com a deposição do gás de iodeto e as partículas de tungstênio no filamento, ocorre a liberação do gás de halogênio.
6. Reinício do ciclo. (CAVALIN; CEVELIN, 2005, p.58).

2.7.2.1 –Características e Aplicações das Lâmpadas Halógenas

A. Lâmpadas Halógenas Dicroicas

“As lâmpadas halógenas dicroicas, vide figura 2.7, são disponíveis em duas versões com potência de 50W e tensão 12V, sendo necessário o uso de transformador”. (CAVALIN; CEVELIN, 2005).



Figura 2.7 - Lâmpada Halógena Dicroica

- Dicroica Fechada – fecho de 12°, 24° e 36°, com refletor dicroico com vidro frontal.
- Dicroica Aberta – fecho de 24° e 36°, com vidro refletor dicroico sem vidro frontal.

- Base bipino do tipo GU 5.3.

Este tipo de lâmpada é aplicado em lojas, shoppings, residências, hotéis, restaurantes, bares, exposições e museus.

B. Lâmpadas Halógenas HA Plus Line

Características:

- Base de contato embutido, envolta por um isolador de porcelana;
- As lâmpadas de 1000W, possuem dois fusíveis internos;
- Posição de uso universal (exceto para o modelo de 1000W);
- Fluxo luminoso mantém-se durante toda a vida das lâmpadas;
- Dimerizável;
- Acendimento e reacendimento imediatos.

Aplicada em residências, museus, instalações públicas, fábricas, ginásios, estádios, estacionamentos e estúdios, vide figura 2.8.

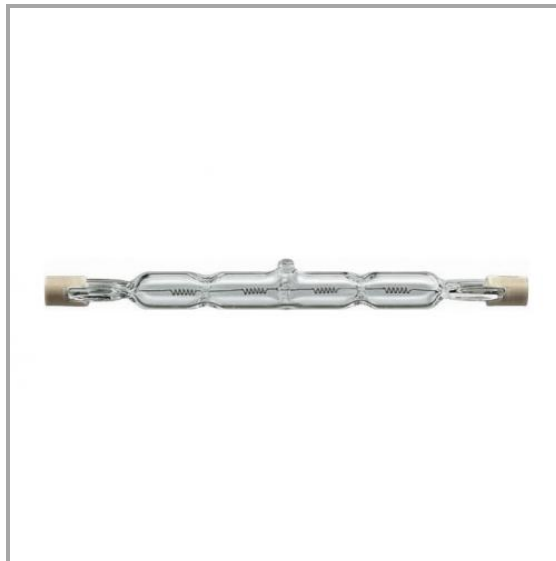


Figura 2.8 - Lâmpada Halógena HA Plus Line

C. Lâmpada PAR Halógena

Características:

- Possuem um “burner” de vidro reforçado posicionado em um refletor parabólico revestido de alumínio;
- Filamento especial, que associado ao vidro frontal granulado, garante um fecho de luz branco e brilhante;
- Dimerizável;
- Acendimento e reacendimento imediatos;
- Posição de uso universal.

Este tipo de lâmpada é utilizado em escritórios, residências, museus, instalações publicas, lojas, hotéis e restaurantes, vide figura 2.9.



Figura 2.9 - Lâmpada Par Halógena

2.7.3 –Lâmpadas de Descarga – Fluorescente

São lâmpadas que, por seu ótimo desempenho, são mais indicadas para iluminação de interiores, como escritórios, lojas, industrias, tendo espectros luminosos indicados para cada aplicação, vide figura 2.10. É uma lâmpada que não permite o destaque perfeito das cores; utilizando-se, porém, a lâmpada branca fria ou morna, permite uma razoável visualização do espectro de cores. Em residências podem ser usadas em cozinhas, banheiros, garagens, etc. Dentre as lâmpadas fluorescentes, a que tem grande aplicação em escritórios, mercados, lojas

por sua alta eficiência, são do tipo HO (high output), que é indicada por razões de economia, pois a sua eficiência luminosa é muito elevada. (CREDER, 2002).



Figura 2.10 - Lâmpada Fluorescente

A. Luz Mista

Embora sua eficiência seja inferior à da lâmpada fluorescente, é porém superior à da incandescente, vide figura 2.11. Em geral é usada quando se deseja melhorar o rendimento da iluminação incandescente, pois não necessita de nenhum equipamento auxiliar: basta colocá-la no lugar da incandescente, porém é preciso que a tensão da rede não seja 220V. (CREDER, 2002, p.178).



Figura 2.11 - Lâmpada Mista

B. Vapor de Mercúrio

“São empregadas em interiores de grandes proporções, em vias públicas e áreas externas. Por sua vida longa e alta eficiência, tem um bom emprego em galpões de pé-direito alto, onde o custo e substituição de lâmpadas e reatores são elevados”. (CREDER, 2002).

C. Vapor de Sódio de Alta Pressão

São lâmpadas que apresentam a melhor eficiência luminosa, por isso, para o mesmo nível de iluminação, é possível economizar mais energia do que em qualquer outro tipo de lâmpada. Devido às radiações de banda quente, estas lâmpadas apresentam o aspecto de luz branco-dourada, porém permitem a visualização de todas as cores, porque reproduzem todo o espectro. (CREDER, 2002, p.178).

D. Eletrônica

São lâmpadas fluorescentes com o tubo em "u", simples, duplo ou triplo (estes últimos de maior potência) ou ainda na forma circular, com o reator já incorporado à rosca, com o mesmo formato da rosca das incandescentes comuns, vide figura 2.12. Embora custe mais do que uma incandescente comum, dura cerca de dez vezes mais (10.000 h) e, para produzir o mesmo fluxo luminoso, consome somente 20% da incandescente.



Figura 2.12 - Lâmpada Econômica

2.7.4–Lâmpadas de Led

2.7.4.1 –Led

A tecnologia LED (Light Emitting Diode = Diodo Emissor de Luz) é hoje uma tendência mundial em termos de iluminação, oferecendo soluções para substituir mais de 80% das necessidades de iluminação ambientais convencionais disponíveis no mercado.

O LED é um diodo, ou seja, um semicondutor com junção P-N produzido a partir do silício (ou germânio e, mais recentemente, Carbono) puro (99,999999% de pureza), que é dopado” com “impurezas” (outros elementos químicos em pequenas quantidades, como por exemplo, Índio, Gálio e Nitreto – InGaN) que, quando energizado irá emitir ondas eletromagnéticas dentro de uma largura de banda espectral relativamente estreita, dentro do espectro visível.

Possui a mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. Tal transformação é diferente da encontrada nas lâmpadas convencionais que como mencionado anteriormente utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, dentre outras. Nos LEDs, a

transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria, sendo, por isso, chamada de Estado sólido (Solid State). É um componente do tipo bipolar, ou seja, tem um terminal chamado anodo e outro, chamado catodo. Dependendo de como for polarizado, permite ou não a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, a geração ou não de luz. (UTILUX,2012).

2.7.4.2 –A lâmpada de LED

As lâmpadas de LED, vide figura 2.13, proporcionam uma iluminação excelente e funcionam em várias cores. Algumas empresas, como a Philips, vêm fabricando produtos desse tipo em larga escala. Um fator que tem feito às fabricantes investirem forte em pesquisas para iluminação com LEDs é a alta qualidade que elas proporcionam. Além de serem muito mais econômicas e iluminarem com maior eficiência, as lâmpadas de LED tendem a ter uma vida útil muito maior.

Comparando esse tipo de lâmpada com uma comum percebemos a crescente tendência no uso de LEDs para iluminação. A lâmpada incandescente tradicional necessita de 40W de potência e dura até mil horas. Uma equivalente de LED proporciona a mesma luminosidade com até 10W de consumo e uma vida útil trinta vezes mais longa, estando cada vez mais versáteis e acessíveis.



Figura 2.13 - Lâmpada de LED

2.7.4.3 – Benefícios no uso dos LEDs

- Custos de manutenção reduzidos: Em função de sua longa vida útil, a manutenção é bem menor, representando menores custos.

- Eficiência: Apresentam maior eficiência que as Lâmpadas incandescentes e halógenas e, hoje, muito próximo da eficiência das fluorescentes (em torno de 50 lumens / Watt), mas este número tende a aumentar no futuro.

- Baixa voltagem de operação: Não representa perigo para o instalador.

- Resistência a impactos e vibrações: Utiliza tecnologia de estado sólido, portanto, sem filamentos, vidros, etc., aumentando a sua robustez.

- Controle dinâmico da cor: Com a utilização adequada, pode-se obter um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste perfeito da temperatura de cor desejada.

- Acionamento instantâneo: Tem acionamento instantâneo, mesmo quando está operando em temperaturas baixas.

- Controle de Intensidade variável: Seu fluxo luminoso é variável em função da variação da corrente elétrica aplicada a ele, possibilitando, com isto, um ajuste preciso da intensidade de luz da luminária.

- Cores vivas e saturadas sem filtros: Emite comprimento de onda monocromático, que significa emissão de luz na cor certa, tornando-a mais viva e saturada. Os LEDs coloridos dispensam a utilização de filtros que causam perda de intensidade e provocam uma alteração na cor, principalmente em luminárias externas, em função da ação da radiação ultravioleta do sol.

- Luz direta, aumento da eficiência do sistema: Apesar de ainda não ser a fonte luminosa mais eficiente, pode-se obter luminárias com alta eficiência, em função da possibilidade de direcionamento da luz emitida pelo LED.

- Ecologicamente correto: Não utiliza mercúrio ou qualquer outro elemento que cause dano à natureza.

- Ausência de ultravioleta: Não emitem radiação ultravioleta sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejado. Ex.: Quadros – obras de arte etc...

- Ausência de infravermelho: Também não emitem radiação infravermelho, fazendo com que o feixe luminoso seja frio.

- Com tecnologia adequada PWM, é possível a dimerização entre 0% e 100% de sua intensidade, e utilizando-se Controladores Colormix Microprocessados, obtém-se novas cores, oriundas das misturas das cores básicas. Que são: branco, azul, verde, azul, amarelo, vermelho.

- Ao contrário das lâmpadas fluorescentes que tem um maior desgaste da sua vida útil no momento em que são ligadas, nos LEDs é possível o acendimento e apagamento rapidamente possibilitando o efeito “flash”, sem detrimento da vida útil. (UTILUX, 2012)

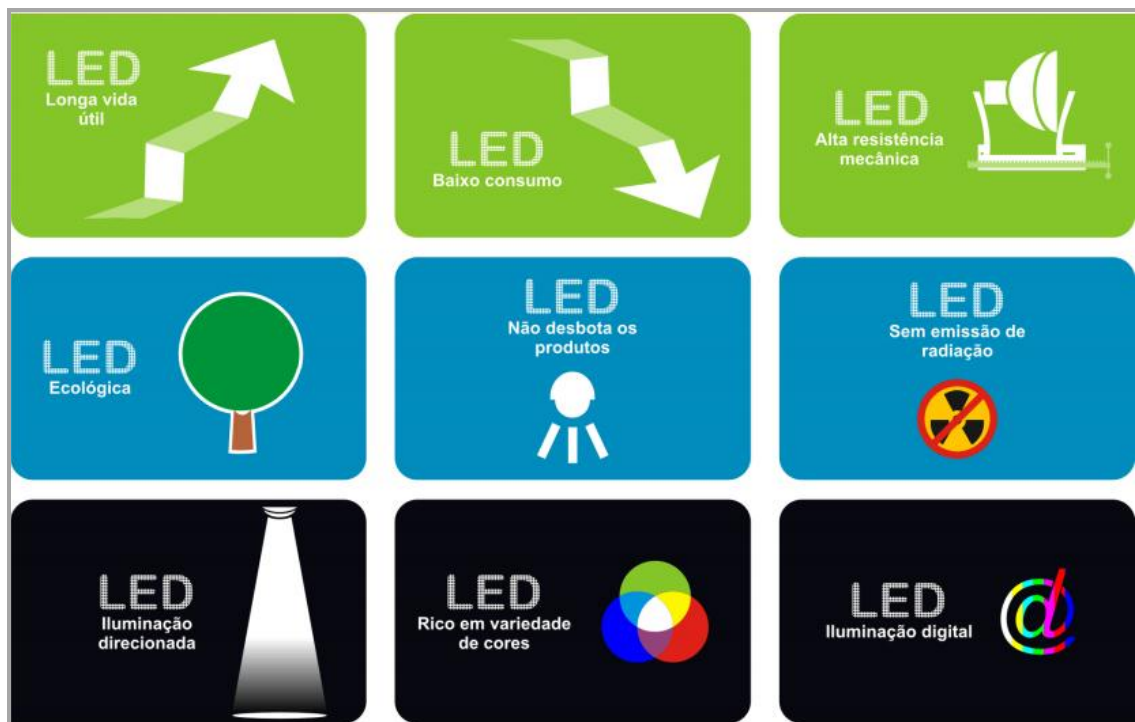


Figura 2.14 - Benefícios da iluminação com Led (CLARITEK, 2012) Fonte:
<http://www.sme.org.br/arquivos/pdf/SMEEFICIENCIAENERGETICA.pdf>

A figura 2.14 demonstra os benefícios da iluminação com LED. Dentro destes, a lâmpada de LED foi uma escolha deste projeto, devido ao seu baixo consumo e durabilidade, e por ser uma tendência mundial, tornando o projeto muito mais eficiente e atualizado.

2.8 –A importância de uma boa iluminação

Nos últimos 100 anos a iluminação elétrica que é uma das tecnologias que nos promoveu inúmeros benefícios como: proteção à vista, influências benéficas sobre o sistema

nervoso vegetativo, benefícios também nas áreas de trabalhos, ou seja, um melhor rendimento das pessoas, elevando o ânimo, segurança, e conforto visual.

A indústria da iluminação é a que mais tem investido na eficiência e economia de energia. Tanto é que nos últimos 40 anos, essa indústria conseguiu aumentar a eficiência das lâmpadas de modo significativo:

- Lâmpadas de descarga a vapor de mercúrio a alta pressão em 65%;
- Lâmpadas fluorescentes em 80%;
- Lâmpadas de descarga em vapor de sódio e baixa pressão em 115%.

Junto com essas evoluções, foi desenvolvido, na ultima década, um número considerável de novos produtos de iluminação para economia de energia, dentre os quais, as lâmpadas fluorescentes compactas e eletrônicas. Foi assim possível, reduzir o consumo de energia, sem diminuir os enormes benefícios de uma boa iluminação. (CAVALIN; CEVELIN, 2005, p.52).

2.9 –Modulação por Largura de Pulso – PWM

PWM é a sigla em inglês para *Pulse-Width Modulation*, que significa Modulação por largura de pulso. Trata-se de uma onda com frequência constante (período constante) e largura de pulso (*duty cycle*) variável. Para exemplificação, na figura 2.15, são apresentadas duas formas de onda PWM com larguras de pulso diferentes.

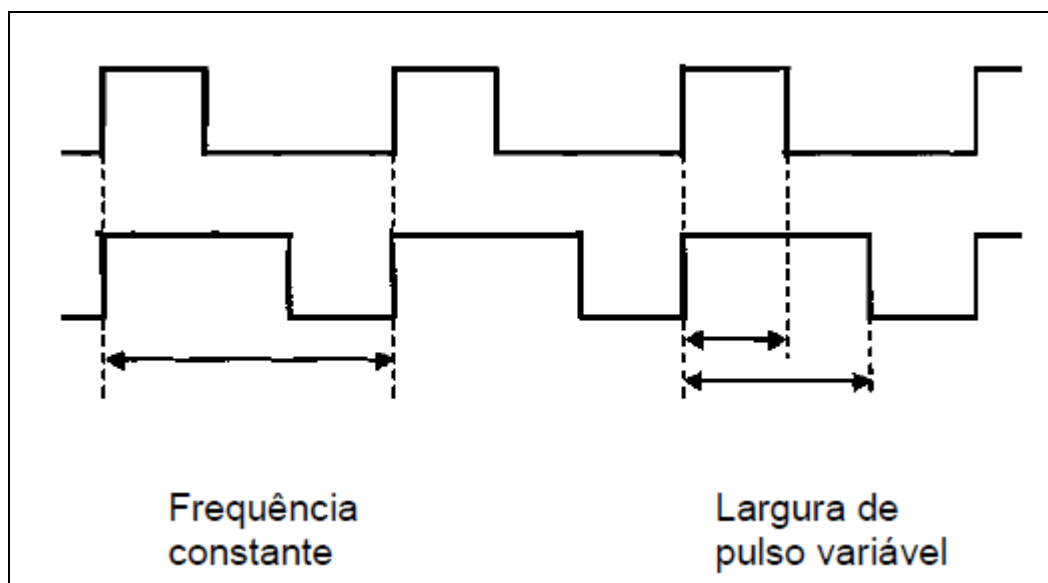


Figura 2.15 – Exemplificação de formas de onda PWM. Fonte: (SOUZA & LAVINIA, 2003).

Genericamente, a tensão média de uma forma de onda é dada por:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

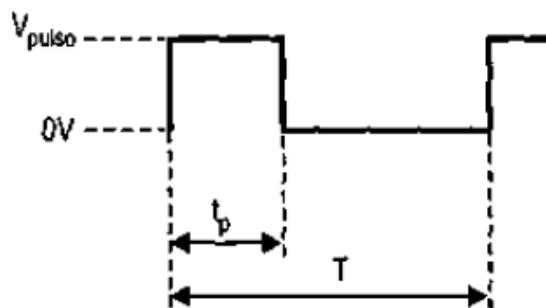
Equação 2.1– Função do valor da tensão média.

Onde T é o período da forma de onda e V(t) é a função da tensão no tempo. Para o caso PWM, temos que:

$$V(t) = \begin{cases} V_{pulso} \rightarrow 0 \leq t \leq t_p \\ 0 \rightarrow t_p < t \leq T \end{cases}$$

Equação 2.2– Função da tensão no tempo.

Onde: t_p é a duração do pulso em nível lógico 1 e V_{pulso} é a tensão de pulso do sinal PWM (SOUZA & LAVINIA, 2003).



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_p} V_{pulso} dt + \int_{t_p}^T 0 dt \right)$$

$$V_{dc} = \frac{t_p}{T} V_{pulso}$$

Equação 2.3– Função do valor da tensão média com sinal PWM.

A razão entre a largura de pulso e o período da forma de onda, recebe o nome de *duty cycle*, ou ciclo ativo em português. O pulso da forma de onda apresenta tensão fixa, porém, o valor médio da tensão da forma de onda varia em função do *duty cycle*. A tensão média (V_{dc}), é diretamente proporcional ao *duty cycle* e como este varia entre 0 (quando $t_p = 0$) e 1 (quando $t_p = T$) temos que a tensão média pode variar entre 0 e V_{pulso} . No nosso caso, a variação será de 0 a 5 V.

CAPÍTULO 3 – FERRAMENTAS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Diante exposto nos capítulos anteriores, torna-se evidente a necessidade de adoção de medidas que contribuam para a redução do consumo de energia elétrica, desenvolvendo-se sistemas de controle que aperfeiçoem o uso, minimizando desperdícios.

Para a implementação desse projeto foi utilizado microcontrolador para efetuar o controle de iluminação, bem como a utilização das ferramentas necessárias para a elaboração e a compilação do programa, além de ferramentas para elaboração do circuito em ambiente gráfico. Neste capítulo são apresentadas as ferramentas e os métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto.

3.1 – Ferramentas de Hardware e Software utilizadas na Implementação do Sistema

3.1.1 – Microcontroladores

O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de circuito integrado, que integra as partes básicas de um microcomputador - microprocessador, memórias não-voláteis e voláteis e portas de entrada e saída. Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória, principalmente no que diz respeito à memória de dados, é utilizada em aplicações específicas, ou seja, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como automação residencial, automação predial, automação industrial e automação embarcada. (GIMENEZ, 2005).

São vários os fornecedores de microcontroladores. Os principais, em termos de volume de vendas no Brasil, são: (PAIOTTI, 2009).

- Microchip Technology Inc. (<http://www.microchip.com>);
- Intel Corporation (<http://www.intel.com>);
- Atmel Corporation (<http://www.atmel.com>); e
- Texas Instruments (<http://www.ti.com>);

Dentre todos os microcontroladores, os mais utilizados em projetos acadêmicos, devido à facilidade de implementação e montagem em circuito são:

- Microcontroladores da Família 8051 – lançada pela Intel, até hoje é conhecida e utilizada devido a sua facilidade de programação, em linguagem *assembly* graças ao seu poderoso conjunto de instruções;
- Arduino – não é um microcontrolador, e sim uma plataforma que foi criada para facilitar e baratear uso e programação de microcontroladores em seus circuitos mais complexos; e
- Microcontroladores da Família PIC, utilizado neste projeto.

3.1.1.1 – A família de microcontroladores PIC

Os PIC são uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip Technology, que processam dados de 8 bits, de 16 bits e, mais recentemente, de 32 bits. A nomenclatura é oriunda de *Programmable Interface Controller* (Controlador de Interface Programável). Contam com extensa variedade de modelos e periféricos internos. Possuem alta velocidade de processamento devido a sua arquitetura Harvard e conjunto de instruções RISC (conjuntos de 35 instruções e de 76 instruções), com recursos de programação por Memória flash, EEPROM e OTP. Os microcontroladores PIC têm famílias com núcleos de processamento de 12 bits, 14 bits e 16 bits e trabalham em velocidades de 0kHz (ou DC) a 48MHz e velocidades de 16 MIPS em alguns modelos. Há o reconhecimento de interrupções tanto externas como de periféricos internos. Funcionam com tensões de alimentação de 1.8 a 6V.

A grande vantagem da família PIC é que todos os modelos possuem um *set* de instruções bem parecido, assim como também mantêm muitas semelhanças entre suas características básicas. A utilização de um modelo torna a migração para outros modelos muito mais simples. (SOUZA, 2005)

A denominação família PIC é devido aos diversos microcontroladores fornecidos, que vão desde microcontroladores de 8-bits, passando por 16-bits, até os de 32-bits. A escolha vai depender da funcionalidade e desempenho requerido, conforme mostrada na Figura 3.1.

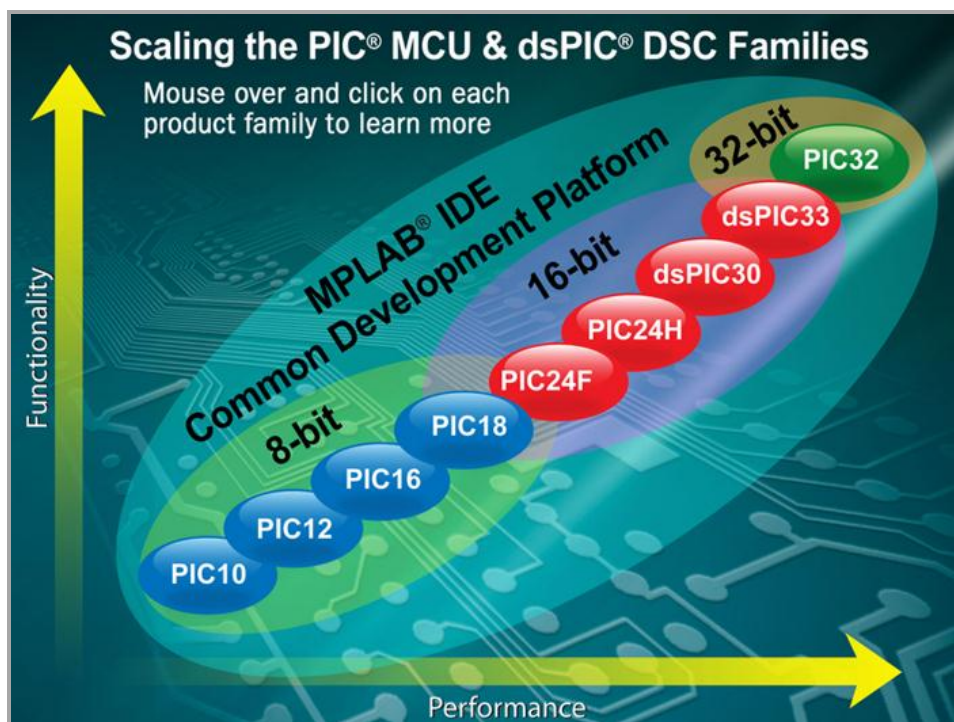


Figura 3.1 – Dimensionamento da família PIC – funcionalidade *versus* desempenho (MICROCHIP,2012)

O microcontrolador utilizado neste projeto é o modelo 16F877, devido à quantidade de portas de entrada e saída existentes, podendo ser acrescentados dispositivos como displays, botões de configurações, entre outros.

3.1.2 – PIC 16F877

O microcontrolador PIC modelo 16F877, utilizado no projeto é da família de 8 bits e núcleo de 14 bits, fabricado pela Microchip Technology, vide figura 3.2. A letra F no nome indica que a memória de programa deste é do tipo Flash. As principais características deste modelo são:

- Opera com 35 instruções (assembler)
- Operações com duração de um único ciclo, exceto pelas instruções de desvio que consomem dois ciclos de máquina. Cada ciclo equivale a 4 pulsos do circuito oscilador (clock)
- Operação em até 20 MHz (20 milhões de pulsos de clock por segundo = 5 milhões de ciclos de máquina por segundo = 200 ns por ciclo)

- 8 KWords de FlashROM (Word com 14 bits), suportando mais de 8 mil instruções em um programa.
- 368 Bytes de memória RAM
- 256 Bytes de memória EEPROM (regravável via software e não volátil com ate 1.000.000 de gravações)
- Com interrupções com 14 fontes diferentes (timer0,timer1,timer2, contagem, pulso externo, serial, etc...).
- Pilha física com 8 níveis de profundidade
- Endereçamento direto, indireto e relativo
- Power-on Reset, power-on timer, oscillator start-up timer
- Watch-dog Timer baseado em oscilador RC interno para tratar um possível travamento de software
- Opção para proteção de código executável (Ativando-a, não é mais possível se ler a memória, evitando a duplicação do código em outro microcontrolador)
- Modo SLEEP para poupar energia consumo medio em sleep 4uA
- Opções diferentes para circuito oscilador
- Tecnologia CMOS FLASH/EEPROM de baixo consumo e alta velocidade, permitindo armazenamento não volátil na memória EEPROM interna em tempo de execução.
- Programação ICSP (recurso embutido de gravação) através de dois pinos, facilitando a gravação do microcontrolador.
- Capacidade opcional de gravação com tensão de 5V (LVP)
- Opção de depuração in-circuit através de dois pinos
- Tensão de trabalho de 2 a 5.5V
- Baixo consumo de energia (abaixo de 1mA)
- 3 timers (2 de 8 bits e 1 de 16 bits)
- 2 pinos para captura, comparação e módulos PWM
- 8 canais analógicos para um AD de 10 bits
- Porta serial sincrona com SPI (master) e I2C(master/slave)
- Porta serial universal (RS232 ou RS485) com buffer via hardware (2 bytes)
- Porta paralela escrava de 8 bits
- Detector Brown-out
- 33 pinos de entrada/saída configuráveis

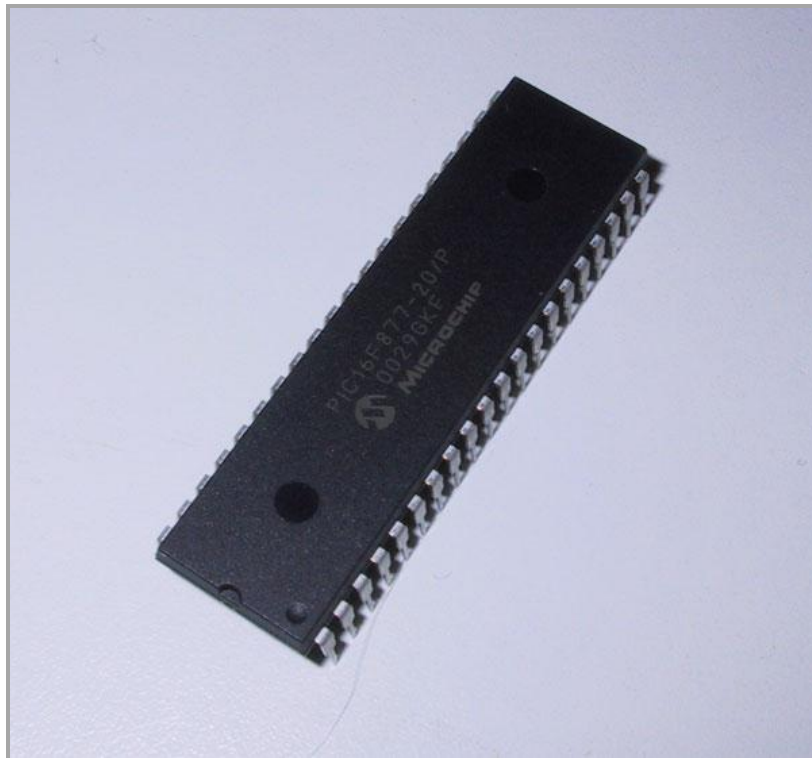


Figura 3.2 – PIC 16F877

3.1.2.1 – Pinagem do PIC 16F877

A pinagem do microcontrolador utilizado está mostrada na Figura 3.3, a seguir. A descrição de cada um dos pinos está mostrada na Tabela 2.

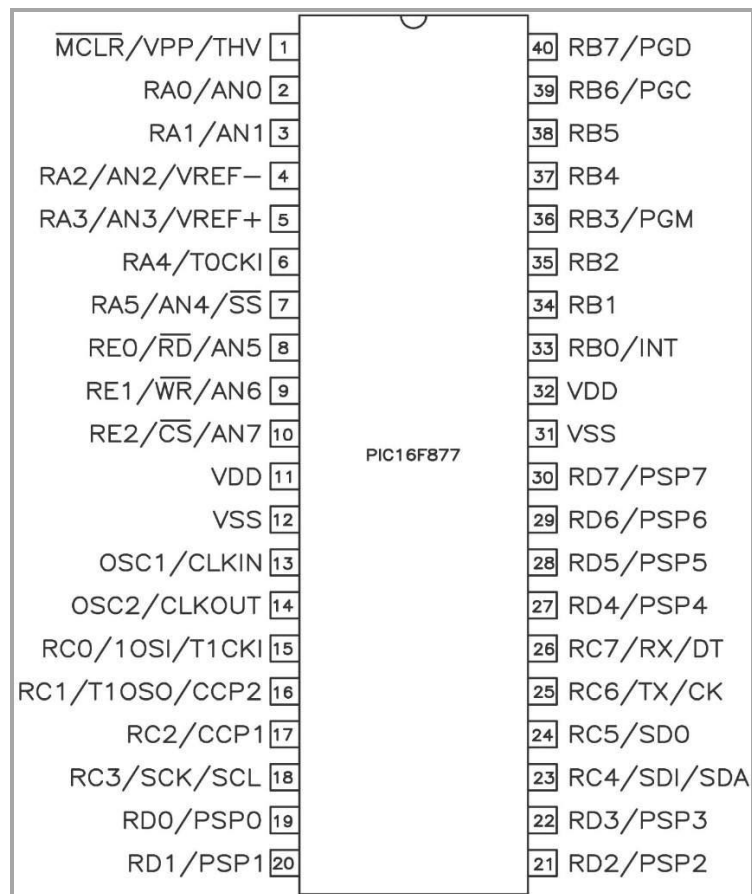


Figura 3.3– Pinagem PIC 16F877

Tabela 2 – Significado das nomenclaturas dos pinos do PIC16F877.

Nº	Pino	Descrição
1	MCLR/Vpp	Master Clear (reset). O microcontrolador funciona quando este pino está em nível alto.
2	RA0 AN0	Entrada e saída digital. Entrada analógica.
3	RA1 AN1	Entrada e saída digital. Entrada analógica.
4	RA2 AN2 V _{REF-} /CV _{REF}	Entrada e saída digital. Entrada analógica. Tensão negativa de referência analógica.
5	RA3 AN3 V _{REF+}	Entrada e saída digital. Entrada analógica. Tensão positiva de referência analógica.
6	RA4 T0CKI C1OUT	Entrada e saída digital. Open-drain quando configurado como saída. Entrada externa do contador TMR0. Saída do comparador 1.
7	RA5 AN4 SS C2OUT	Entrada e saída digital. Entrada analógica. Slave para a comunicação SPI. Saída do comparador 2.
8	RE0 RD AN5	Entrada e saída digital. Controle de leitura da comunicação paralela. Entrada analógica.

9	RE1 WR AN6	Entrada e saída digital. Controle de escrita da comunicação paralela. Entrada analógica.
10	RE2 CS AN7	Entrada e saída digital. Habilitação externa para comunicação paralela. Entrada analógica.
11/32	VDD	Alimentação positiva.
12/31	VSS	GND.
13	OSC1/CLKIN	Oscilador cristal ou entrada de osciladores externos.
14	OSC2/CLKOUT	Saída para oscilador cristal.
15	RC0 T1OSO T1CKI	Entrada e saída digital. Saída do oscilador externo para TMR1. Entrada de incremento para TMR1.
16	RC1 T1OSI CCP2	Entrada e saída digital. Entrada do oscilador externo para TMR1. Entrada do Capture2 ou Saída para Compare2/PWM2.
17	RC2 CCP1	Entrada e saída digital. Entrada do Capture1 ou Saída para Compare1/PWM1.
18	RC3 SCK SCL	Entrada e saída digital. Entrada/Saída do clock para comunicação SPI. Entrada/Saída do clock para comunicação I2C.
19	RD0 PSP0	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
20	RD1 PSP1	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
21	RD2 PSP2	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
22	RD3 PSP3	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
23	RC4 SDI DAS	Entrada e saída digital. Entrada de dados para comunicação SPI. Entrada/Saída de dados para comunicação I2C.
24	RC5 SDO	Entrada e saída digital. Saída de dados para comunicação SPI.
25	RC6 TX CK	Entrada e saída digital. Transmissão para comunicação assíncrona USART. Clock para comunicação síncrona USART.
26	RC7 RX DT	Entrada e saída digital. Recepção para comunicação assíncrona USART. Dados para comunicação síncrona USART.
27	RD4 PSP4	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
28	RD5 PSP5	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
29	RD6 PSP6	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
30	RD7 PSP7	Entrada e saída digital. Comunicação paralela.
33	RB0 INT	Entrada e saída digital. Interrupção externa.
34	RB1	Entrada e saída digital.
35	RB2	Entrada e saída digital.
36	RB3 PGM	Entrada e saída digital. Entrada para programação de baixa tensão.
37	RB4	Entrada e saída digital.
38	RB5	Entrada e saída digital.

39	RB6 PGC	Entrada e saída digital. Clock de programação serial ou pino de in-circuit debugger.
40	RB7 PGD	Entrada e saída digital. Dado de programação serial ou pino de in-circuit debugger.

FONTE: SOUZA, 2005, p. 22.

3.1.3 – Linguagem C

Segundo Sá (2005), C é uma linguagem de programação profissional, e é aceita para criação de sistemas operacionais como o Windows, o Linux, o Unix, etc. Ela foi criada para ser tão pequena quanto possível. Seu conjunto de comando é bastante reduzido, mas, apesar disso, a linguagem é extremamente flexível e poderosa. A filosofia de C é que desenvolvedor “sabe” exatamente o que quer e a maneira correta de instruir a linguagem e a máquina, para alcançar esses objetivos.

Sua sintaxe é sucinta e não restringe as maneiras como um resultado pode ser alcançado, permitindo ao desenvolvedor fazer praticamente o que quiser para alcançar esses resultados, com geração mínima de código e uso de memória, o que a torna uma linguagem muito mais rápida. SÁ (2005)

3.1.3.1 – Vantagens e desvantagens

As razões para a popularidade da linguagem C em aplicações embutidas são bem conhecidas: o acesso fácil ao hardware, os baixos requisitos de memória e elevado desempenho dos atuais compiladores facilitam o rápido desenvolvimento de aplicações eficientes e de fácil manutenção. SOUZA (2003).

Vale mencionar que, comparando-se com as demais linguagens, a linguagem C apresenta a curva de aprendizado mais elevada, nos dizeres de SÁ (2005), que possibilita a aplicação de forma extremamente rápida. Além disso, possui programação de forma estruturada, código enxuto, possibilidade de modularização e de escrever código quase de forma coloquial. Esses fatores corroboram para a geração de muita velocidade no produto final e uma grande economia de memória.

Ainda segundo Souza (2003), igualmente bem conhecidas são as desvantagens da linguagem: sintaxe demasiadamente livre e propensa a erros difíceis de detectar e demasiados pontos onde a norma ISO não define o comportamento da linguagem ou remete para a implementação de cada compilador.

Outrossim, a linguagem C é bastante utilizada no ambiente acadêmico, sendo a linguagem mais utilizada no âmbito do curso de Engenharia da Computação, razão pela qual, além das vantagens já citadas, escolheu-se para o desenvolvimento deste trabalho. Além disso, há também o intuito de fazer valer os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Engenharia de Programação, Linguagens e Técnicas de Programação.

3.1.4 – MikroC Prog para PIC

O MikroC PRO para PIC é um compilador completo de linguagem de programação ANSI C projetado para aplicações baseadas em PIC. É uma boa solução para o desenvolvimento de código em dispositivos PIC. Possui interface intuitiva, compilador com otimizações avançadas, possui lotes de hardware e bibliotecas de software e ferramentas adicionais que ajudaram neste projeto. O compilador vem com arquivo de ajuda completo e vários projetos prontos para uso na forma de exemplos que facilitam durante a programação. (MIKROELEKTRONIKA,2012)

Neste projeto a versão do software utilizada foi a 4.60, como pode ser visto na figura 3.4.

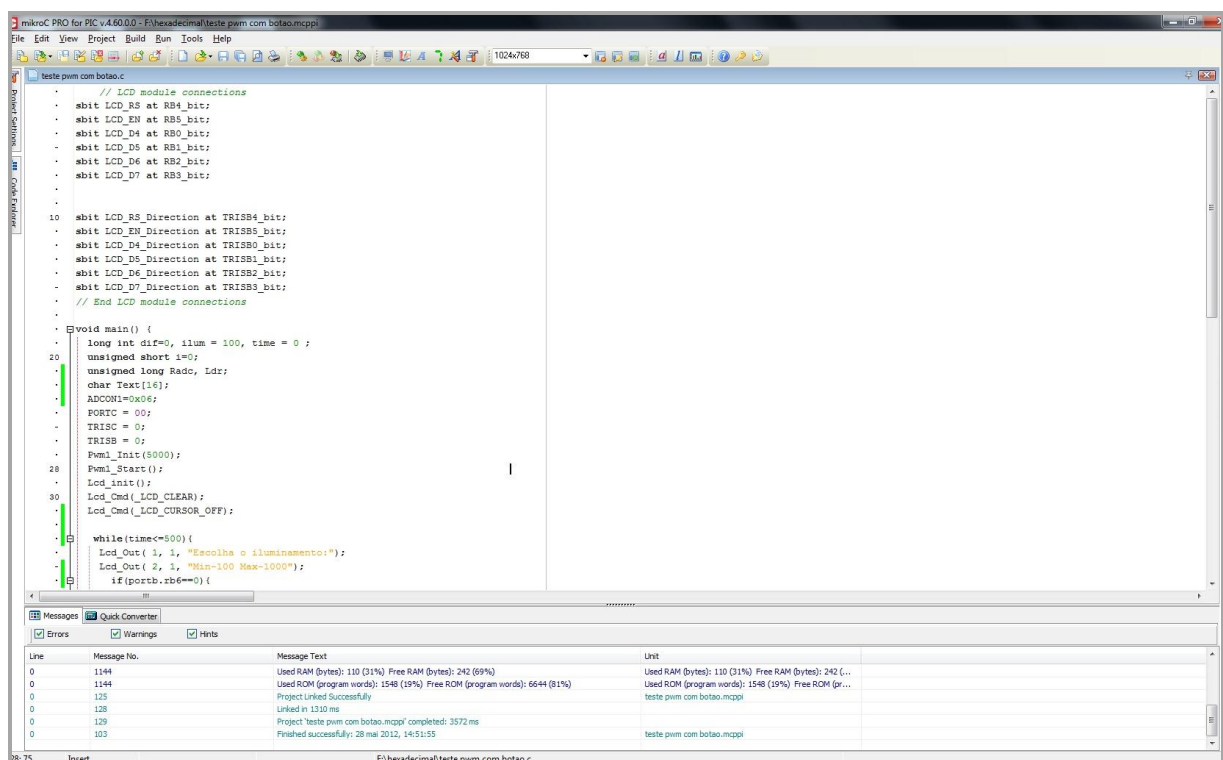


Figura 3.4 - Interface gráfica Mikroc Prog versão 4.60

3.1.5 – MPLAB IDE

O MPLAB IDE (Integrated Development Environment) é um conjunto de ferramentas integradas para o desenvolvimento de aplicações e sistemas embarcados, utilizando o microcontrolador PIC Microchip MCUs e DSCs dsPIC. É fornecido gratuitamente pela empresa Microchip_Technology®, integra diversos ambientes de trabalho para programação, simulação e gravação de microcontroladores, vide figura 3.5

O MPLAB IDE foi projetado para trabalhar com vários modelos de microcontroladores da Microchip e flexibilidade para uso de ferramentas de linguagem de programação de outros fabricantes.

Estas ferramentas de programação podem ser usadas para projetos escritos em linguagem de programação em assembly, C ou linguagem BASIC; compilados em linguagem hexadecimal o código executável pode ser gravado no dispositivo em uma memória flash ou Epron.

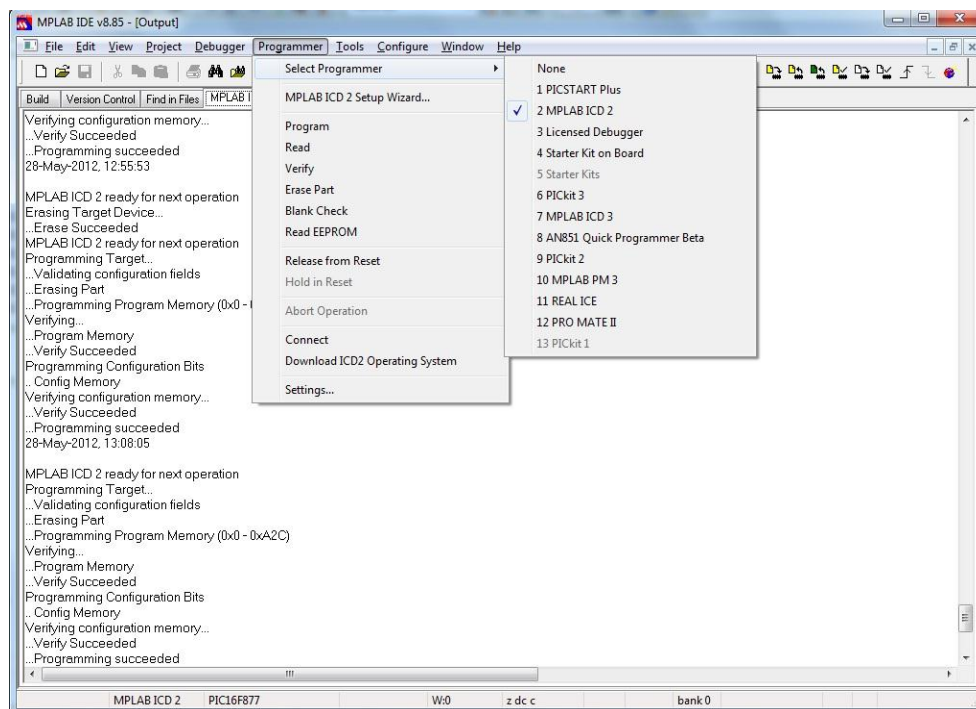


Figura 3.5– MPLAB IDE versão 8.85

Neste projeto o software MPLAD IDE foi utilizado para a programação do microcontrolador, vinculado ao programador MultiProg Plus Programador de Pic - ICD2.

3.1.6 – Kit de Gravação MultiProg Plus Programador de Pic - ICD2

O MultiPROG PLUS, mostrado na figura 3.6, é um programador Profissional e debugger que funciona conectado à porta USB do computador ou notebook, não necessita de adaptadores ou fonte de alimentação. Programa os principais PICs 12F, 16F, 18F, 24F e dsPIC de 5V e 3Volts diretamente do software MPLAB ou PICKit 2. É um programador compatível com diversas linguagens de Programação: Assembly, Linguagem C, Basic.

Este gravador dispõe de saída para gravação diretamente no circuito ICSP (In Circuit Serial Programming) onde o PIC está instalado, isto é muito útil em situações onde se é usado: PICs tipo SMD, atualização constante/ desenvolvimento do firmware, dsPICs que tem pinagem de programação diferente dos PICs convencionais, etc.

Como ICD 2 (In Circuit Debugger) o MultiPROG permite através desta saída a conexão ao PIC em testes para que seja programado e também feito o Debug do firmware com o auxílio do software MPLab. (SMARTRADIO, 2012)



Figura 3.6 – MultiPROG Plus ICD2

Principais Recursos:

- Compatível com MPLab e software PICKit 2
- Saída p/ ICSP (programação direta no circuito)
- Interface USB ideal para notebooks
- Conector ZIF: maior facilidade para programação
- Leds indicadores de status
- Firmware atualizável diretamente através MPLab
- Soquete para PiCs de 8, 18, 14, 28 e 40 pinos
- Suporta PICs Flash 10F, 18F, 16F, 12F dsPIC (através de ICSP) e 24F
- Suporta PICs de 5V e 3Volts
- Compatível com Windows 98, XP, 2000 e Vista, 7

3.1.7 –PROTEUS ISIS Professional

Proteus é uma suíte que agrega o ambiente de simulação de circuitos eletrônicos ISIS e o programa para desenho de circuito impresso Ares professional, vide figura 3.7.

O Proteus é um software para simulação de microprocessadores, captura esquemática, e placa de circuito impresso (PCB design). É desenvolvido pela empresa inglesa Labcenter Electronics. O XGameStation Micro Edition foi desenvolvido usando entradas esquemática do Proteus Labcenter e ferramentas de layout de PCB.

O software de desenho e simulação Proteus VSM é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais que desejam acelerar e melhorar suas habilidades para o desenvolvimento de aplicações analógicas e digitais. Ele permite o desenho de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos aos circuitos. A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficos que representam os sinais obtidos na simulação. O que mais interesse despertou é a capacidade de simular adequadamente o funcionamento dos microcontroladores mais populares (PICS, ATMEL-AVR, Motorola, 8051, etc.) Também tem a capacidade de passar o desenho a um programa integrado chamado ARES no qual se pode levar a cabo o desenvolvimento de placas de circuitos impressos.

Podem-se incluir também instrumentos de medição e gráficos representando os sinais obtidos na simulação. (BERMUDEZ,2012)

O software Proteus VSM possui alguns recursos como:

- Captura de esquemático, layout de PCB, simulação e debugging de circuitos micro-controlados e mistos (digital e analógico): PIC, 80C51, HC11, AVR e Basic Stamp entre outros;
- Interface amigável com grande poder para capturar, simular e desenvolver layouts de designs complexos;
- Componentes animados para simulação: LCDs, keypads, motores, auto-falantes, etc;
- Mais de 6000 modelos de componentes para captura de esquemático e simulação. Além de bibliotecas de layout com mais de 1000 footprints, incluindo componentes SMD e THT;
- Simulação em tempo real;
- Inúmeros equipamentos virtuais para análise de circuitos incluindo osciloscópio, analisador lógico e Gerador de funções;
- Auto-Roteamento e posicionamento de componentes no layout da placa;
- Excelente integração entre os softwares do pacote Proteus e com outros softwares de CAD, através de arquivos Gerbers, DXF, EPS, Windows Bitmap, etc;

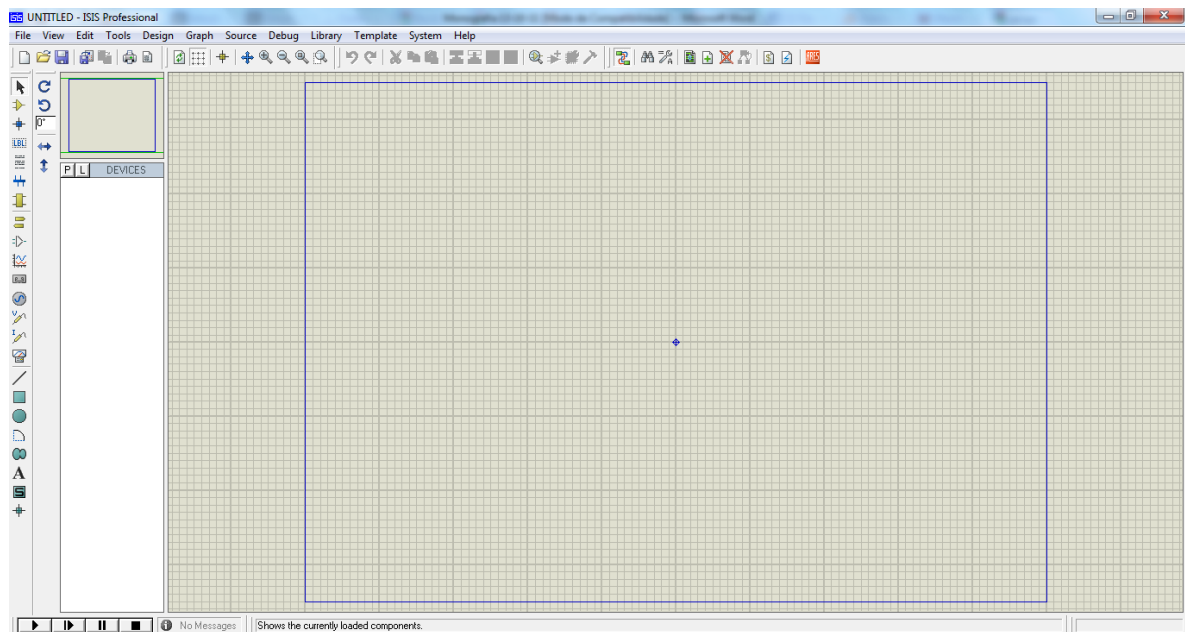


Figura 3.7 - Área gráfica de desenvolvimento do Proteus

3.1.8 –Fotômetros – Luxímetro

A fotometria consiste na ciência responsável por medir a luz. Utilizando diversos métodos é possível determinar o fluxo luminoso, a intensidade luminosa, a iluminância e as curvas do desempenho dos aparelhos de iluminação.

O fotômetro é um instrumento que mede a intensidade da luz através de parâmetros fotográficos. Convertendo a luz em corrente elétrica. (RODRIGUES, 2002)

Quando se deseja obter o nível de iluminância de ambientes internos é realizada a medição com auxílio de um fotômetro calibrado em lux, chamado de luxímetro. Seu funcionamento se deve ao sensoriamento da área através de um LDR, foto-diodo, ou até mesmo um foto-diodo-laser. A medição é feita pela comparação de tensão por um circuito, transformando as medidas de luminosidade em tensão, informando então em lux no display, que varia de 0 lux a 50000 lux. Na figura 3.8, é mostrado o luxímetro utilizado no projeto.

Este aparelho foi utilizado durante várias etapas do projeto, para comparação de medidas e para validação do mesmo, como pode ser visto no próximo capítulo.



Figura 3.8 – Luxímetro Digital LX1010B

Fonte: <http://www.mib-instruments.com/servlet/the-51/LX1010B-LUX-Meter,-Light/Detail>

3.2 – Componentes Eletrônicos

3.2.1 – LDR

O sensor de luminosidade escolhido para este projeto foi o LDR, por ser o fotodetector mais simples existente, chamado também de célula ou dispositivo de fotocondução. A fotocondutividade é o fenômeno pelo qual a condutividade de um material varia assim que a intensidade de luz sobre ela é alterada. (REZENDE, 2004).

O LDR age em função da quantidade de luz incidente em sua superfície sensível. Como o próprio nome diz é um Resistor dependente de Luz. São muitas vezes confundidas com foto-células, porém a diferença entre ambos é enorme, sendo que a foto-célula é responsável por captar a energia luminosa e transformar em energia elétrica. (SABER ELETRÔNICA, 2008)

Na figura 3.9 é mostrada a simbologia usada para representar um LDR e seus variados aspectos encontrada.

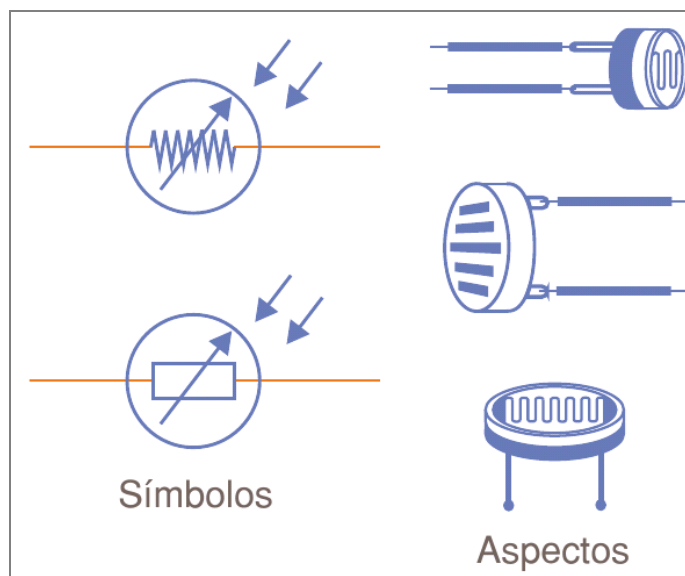


Figura 3.9 – Simbologia e Aspectos de um LDR (SABER ELETRÔNICA,2008)

A superfície sensível do LDR é composta por uma substância chamada Arsenieto de Gálio (GaAs) , este possui a propriedade de alterar a resistência de acordo com a incidência da luz. A explicação para esse evento deve-se ao fato de que as partículas de luz incidentes no material liberam elétrons do material, alterando assim sua resistividade. Quanto maior for a liberação de elétrons, menor será a resistência. São grandezas inversamente proporcionais.

3.2.2 – Display LCD 2x16

Os mostradores LCD são versáteis, de fácil leitura, apresentam custo razoável e oferecem um baixo consumo. A família de controladores LCD da Hitachi (HD44780), foi a responsável pela grande difusão e padronização deste dispositivo. Estão disponíveis no mercado LCD alfanuméricos, onde o usuário trabalha com números e letras, e os mostradores LCD gráficos, que disponibilizam uma matriz de pontos que podem ser acesos ou apagados. (ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005)

Cada caractere é apresentado a partir de uma memória, denominadas de memória do mostrador. A relação entre cada posição do mostrador e cada byte dessa memória é bastante sofisticada. (ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005)

Usualmente os mostradores trabalham com 14 pinos. Entretanto, os que possuem luz de fundo trazem 16 pinos, pois acrescentam mais dois pinos para alimentar o LED que produz a luz de fundo. Na tabela 3 é apresentada essa pinagem. (ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005)

Tabela 3 – Pinagem dos mostradores LCD

Pino	Nome	Função	Function
1	Vss	Terra	Ground
2	VDD	Alimentação	Supply
3	VEE	Contraste	Contrast
4	RS	Seleciona Registrador	Register Select
5	R/W	Leitura/Escrita	Read/Write
6	E	Habilitação	Enable
7	D0	Dado, Bit 0	Data Bit 0
8	D1	Dado, Bit 1	Data Bit 1
9	D2	Dado, Bit 2	Data Bit 2
10	D3	Dado, Bit 3	Data Bit 3
11	D4	Dado, Bit 4	Data Bit 4
12	D5	Dado, Bit 5	Data Bit 5
13	D6	Dado, Bit 6	Data Bit 6
14	D7	Dado, Bit 7	Data Bit 7
15	A	Anodo	Anode
16	K	Catodo	Catode

Fonte: ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005

Função dos pinos:

Pino 1 – V_{SS} : **Terra**. Referência das tensões.

Pino 2 – V_{DD} : **Alimentação**. Tensão positiva, normalmente na faixa de 3 a 6 V, mas deve ser confirmada no manual do fabricante.

Pino 3 – V_{EE} : **Contraste**. Este pino deve ser conectado a uma tensão variável de forma a permitir ajustar o contraste do mostrador, o que é conseguido facilmente com o uso de um potenciômetro conectado entre V_{DD} e V_{SS} . Em situações extremamente simples, é possível conectá-lo ao terra. Alguns mostradores, especialmente os mais antigos, poderão exigir uma tensão negativa por este pino.

Pino 4 – RS: **Seleciona Registrador**. Quando este pino estiver em nível baixo, os bytes transferidos para o mostrador são tratados como instruções e os bytes lidos trazem informações do seu estado. Com este pino em nível alto, é possível enviar ou receber caracteres para o mostrador.

Pino 5 – R/W: **Leitura/Escrita**. Quando em nível baixo, seleciona o mostrador para o modo escrita e, quando em nível alto, para o modo leitura.

Pino 6 – E: **Habilitação**. Esta habilitação é usada para realizar as transações com o mostrador. A escrita é efetivada com o flanco de descida deste pino. No caso de leitura, o dado está disponível um pouco depois deste pino ir para nível alto.

Pinos 7 a 10: **Dados 0 a 3**. Quando programado para uma interface com 8 bits, esses pinos carregam os bits de 0 a 3 dos bytes enviados ou recebidos. Caso se faça uso de interface com 4 bits, esses pinos não são usados.

Pinos 11 a 14: **Dados 4 a 7**. Quando programado para um interface com 8 bits esses pinos carregam os bits de 4 a 7 dos bytes enviados ou recebidos. Caso se faça uso de interface com 4 bits, esses pinos são usados para construir o barramento de 4 bits. Neste caso, a transferência de cada byte é feita em dois acessos consecutivos.

Pino 15: **Anodo**. Este pino está conectado ao anodo do led responsável por fornecer a iluminação do fundo do mostrador. Ele é ligado a um potencial positivo. É bom lembrar que se deve usar um resistor para limitar sua corrente através do led. Para calcular o valor do resistor, é recomendado a consulta do manual do fabricante para conferir as características de tensão e corrente deste led. Alguns mostradores já trazem esse resistor incorporado.

Pino 16: **Catodo**. Este pino está conectado ao anodo do led responsável por fornecer a iluminação de fundo do mostrador. Ele deverá ser ligado a um potencial inferior ao do anodo. Usualmente é conectado ao terra. (ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005)

Neste projeto foi utilizado o LCD 2x16 (duas linhas por 16 colunas), apresentado na figura 3.10, que utiliza um controlador inteligente HD44780 que permite uma comunicação muito fácil com dispositivos microcontroladores.

As instruções e os dados são enviados através do barramento de dados (D0,..., D7) de 8 bits, sendo que este barramento pode ser diminuído para 4 bits (D4,...,D7), o que permite baratear algumas aplicações. As instruções permitem configurar a operação do controlador LCD. Os dados definem os caracteres que serão exibidos.

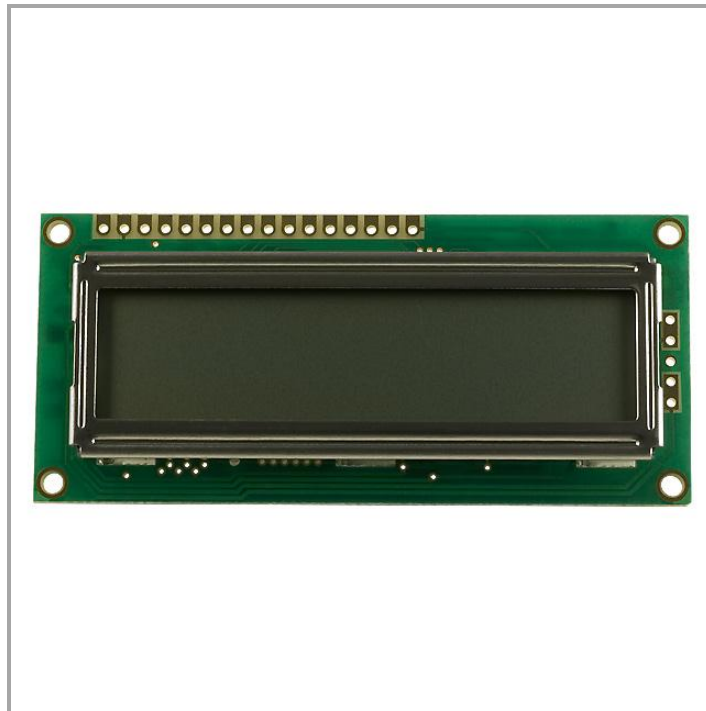


Figura 3.10– Display LCD 2x16

De forma bem simples, pode-se dizer que a missão do controlador LCD é exibir continuamente os dados que estão escritos na sua memória RAM. (ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005)

O controlador LCD possui uma memória RAM, denominada de memória de dados do display e referenciada com a sigla DDRAM (*Display Data RAM*), que recebe os dados que queremos exibir. Por exemplo, para fazer aparecer a letra “A” na primeira posição do mostrador, basta escrever o byte 41H (ASCII da letra A) na posição 0 da DDRAM.

O formato do mostrador, costuma ser designado pelo número de linhas e pelo número de colunas, 2x16 indica um mostrador de 2 linhas por 16 colunas. A figura 3.10 ilustra o display utilizado no projeto. (ZELENOVSKY e MENDONÇA, 2005)

3.2.3 – Acoplador ótico 4N25

Trata-se de um acoplador ótico de uso geral encapsulado em formato DIP 6 pinos, que possui internamente um diodo emissor de luz infravermelha que satura um fototransistor, isolando a entrada e a saída. Seu símbolo e pinagem estão apresentados na Figura 3.11.

Dentre suas aplicações principais destacam-se:

- a) Fontes de alimentação reguladas;
- b) Entradas lógicas digitais;
- c) Entradas microprocessadas.

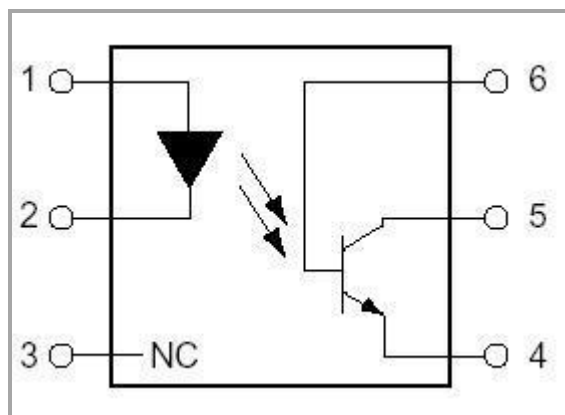


Figura 3.11- Símbolo e pinagem do Acoplador 4N25

- 1. Anodo
- 2. Catodo
- 3. Sem conexão
- 4. Emissor
- 5. Coletor
- 6. Base

Este componente eletrônico consiste por dentro em um led que consome + ou - 30mA e 1.15V de tensão. Ao ser ligado, aciona com sua luminosidade um transistor que pode ser usado para ligar algum outro dispositivo. Os pinos da porta paralela apenas ligarão o led do acoplador, sem nenhum contato físico com o restante do circuito, eliminando qualquer risco à porta do microcontrolador.

No projeto foi utilizado para isolar os circuitos ligados à tensão de 5 V do circuito utilizado para acionamento da lâmpada, conectado em 12V.

CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo é apresentada a forma de implementação deste projeto, abordando o circuito desenvolvido, os métodos utilizados, a relação entre os dispositivos utilizados e a programação do microcontrolador, responsáveis pelo controle lógico da potência aplicada à lâmpada.

4.1– Testes para escolha do LDR

Conforme descrito no Capítulo 2, o sensor utilizado neste projeto é o LDR. Por meio de sua leitura é que o microcontrolador determina os ajustes a serem efetuados na potência aplicada à lâmpada.

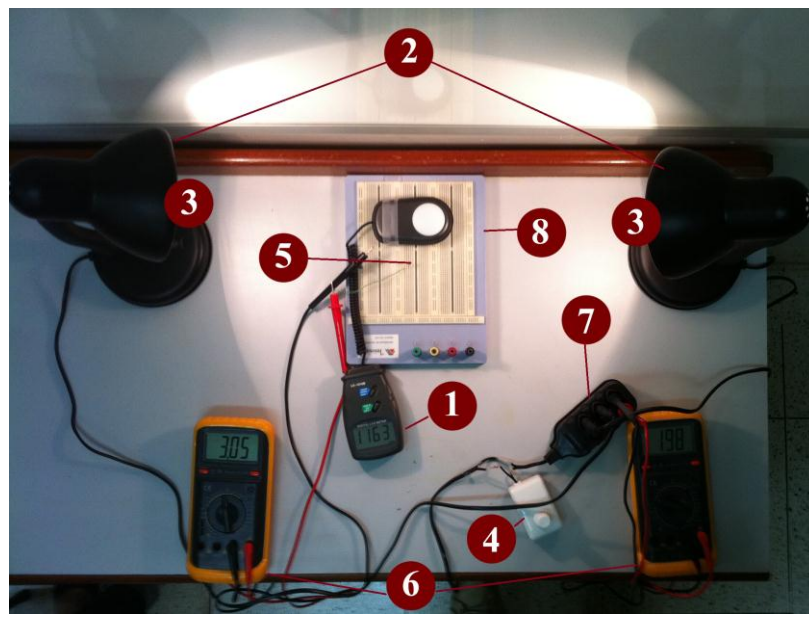
Na etapa inicial deste projeto, foram realizados vários testes, com a finalidade de definir qual sensor LDR seria mais adequado ao uso neste projeto, visto que no mercado foram encontrados três tamanhos diferentes de LDR (aqui denominados de LDR pequeno, médio e grande), cuja variação de resistência é diferente para cada tamanho.

Os equipamentos e componentes utilizados para a realização dos testes foram:

1. Luxímetro LX-1010B Digital LUX Meter;
2. 2 Luminárias;
3. 2 Lâmpadas de 40 W cada;
4. Dimmer;
5. LDR pequeno, médio, grande;
6. 2 Multímetro Digital Minipa ET-2082;
7. Régua de Tomada de 3 saídas;
8. Placa Protoboard.

Para a variação da tensão foi instalado um Dimmer diretamente na régua de tomada (daqui por diante apenas chamada de régua), onde foram ligadas as duas luminárias, podendo

A figura 4.1 ilustra como foi montada a bancada de teste e como os dados foram obtidos.



47

Os testes foram realizados sem nenhuma interferência de qualquer fonte luminosa além das lâmpadas das luminárias, para isso as luzes do laboratório foram apagadas.

Para obtenção dos dados foi iniciado o experimento com as luminárias desligadas, observando o valor da tensão (V), do iluminamento (Lux) e da resistência (Ω). Em seguida com as lâmpadas das luminárias acesas foram medidas a tensão obtida com o Dimmer em nível mínimo e em nível máximo. As tensões obtidas no experimento com o Dimmer em nível mínimo foi de 60 V e em nível máximo de 198 V.

Iniciando então, com o Dimmer em nível mínimo (60 V), a tensão foi sendo ajustada de 5 em 5 V, medindo o iluminamento (Lux) e a resistência (Ω) para cada variação de tensão até alcançar a tensão máxima obtida com o Dimmer (198 V).

O procedimento foi realizado com os três LDR: pequeno, médio e grande. Para definição de qual seria mais efetivo neste projeto.

Os dados obtidos são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Dados experimentais do LDR pequeno

TENSÃO (V)	RESISTÊNCIA (KΩ)	ILUMINAMENTO (LUX)
0	10000	0
60	1000	41
65	24,6	53
70	20,3	70
75	17,3	88
80	14,9	110
85	13,3	130
90	11,41	159
95	10,10	189
100	9,3	213
105	8,40	243
110	7,7	280
115	7,1	316
120	6,6	349
125	6,1	392
130	5,7	432
135	5,40	470
140	5,1	517
145	4,8	565
150	4,5	609
155	4,3	657
160	4,2	695
165	4,00	739
170	3,87	783
175	3,76	817
180	3,6	873
185	3,5	910
190	3,470	930
195	3,37	971
198	3,32	991

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5 - Dados experimentais do LDR médio

TENSÃO (V)	RESISTÊNCIA (K Ω)	ILUMINAMENTO (LUX)
0	1700	0
60	5,3	40
65	4,5	54
70	3,8	70
75	3,3	86
80	2,9	109
85	2,5	132
90	2,3	156
95	2,07	185
100	1,88	214
105	1,74	246
110	1,62	277
115	1,5	316
120	1,4	353
125	1,32	392
130	1,25	430
135	1,19	472
140	1,13	514
145	1,08	555
150	1,03	612
155	0,990	652
160	0,958	694
165	0,933	733
170	0,907	770
175	0,876	821
180	0,857	858
185	0,834	901
190	0,822	926
195	0,805	958
198	0,801	965

Fonte: Próprio Autor

Tabela 6 - Dados experimentais do LDR grande

TENSÃO (V)	RESISTÊNCIA (KΩ)	ILUMINAMENTO (LUX)
0	660	0
60	4,76	44
65	4,11	53
70	3,44	69
75	2,93	86
80	2,55	107
85	2,24	130
90	1,97	160
95	1,80	183
100	1,63	215
105	1,49	247
110	1,37	286
115	1,29	310
120	1,19	351
125	1,12	392
130	1,06	435
135	1,00	471
140	0,94	521
145	0,902	564
150	0,869	604
155	0,832	642
160	0,800	689
165	0,773	730
170	0,748	770
175	0,729	813
180	0,706	858
185	0,687	895
190	0,670	934
195	0,658	972
198	0,647	988

Fonte: Próprio Autor

Observando os dados experimentais obtidos, o LDR que se mostrou mais adequado foi o LDR pequeno, devido a maior sensibilidade demonstrada durante os testes.

4.1.1 – Obtenção e caracterização das curvas do sensor

Os testes com os LDRs também foram realizados para obtenção e caracterização das curvas do sensor com respeito à variação entre tensão (V) *versus* iluminamento (Lux), resistência (Ω) *versus* iluminamento (Lux) e tensão (V) *versus* resistência (Ω). Com isso, pretendia-se obter expressões matemáticas que estabelecessem uma ligação entre resistência do LDR com iluminamento. O método utilizado para o ajuste de curvas está descrito no Apêndice A.

Após os testes iniciais, para definição do melhor sensor de luminosidade, LDR, foi observado que as funções obtidas através do ajuste de curvas não eram efetivas, pois ao realizar testes com as equações obtidas, no microcontrolador, foi observado que o resultado se distanciava muito do valor real, gerando uma margem de grande erro.

Com isso, a utilização destas equações, na programação do microcontrolador, foi descartada.

4.2 – O Sistema de Controle de Luminosidade – Proposta Inicial

O objetivo principal deste projeto, o controle de luminosidade adaptável ao ambiente, manteve-se o mesmo desde o seu início. No entanto, a forma de realização do acionamento da lâmpada, e o controle de sua potência, o microcontrolador e o tipo de lâmpada utilizado, sofreram alterações ao longo do projeto.

Inicialmente, o acionamento da lâmpada, bem como o controle de sua potência (consequentemente, sua luminosidade) seria realizado por um tiristor (TRIAC), por ser um dispositivo de controle para circuitos de corrente alternada, e muito utilizado para controle de potência de lâmpadas dimmers.

O controle lógico seria realizado por meio da plataforma física Arduíno Duemilanove, microcontrolada pelo ATMega 328, devido a sua fácil conexão com o computador, visto que esta é feita através de um Cabo USB e sua interface de programação e debugger ser universal e uma só para qualquer plataforma Arduíno. A lâmpada a ser utilizada seria uma lâmpada incandescente comum.

Na figura 4.3 é mostrada a topologia proposta para a implementação do projeto previsto inicialmente.

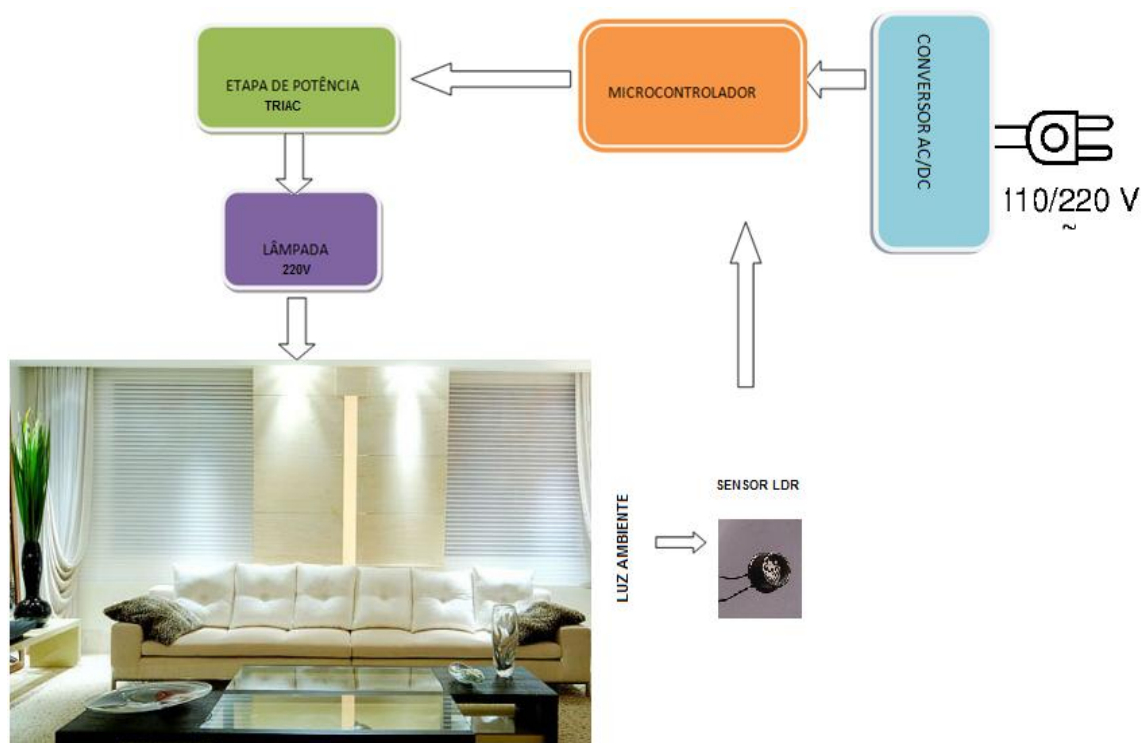


Figura 4.3 – Topologia proposta inicialmente para o projeto.

Durante o desenvolvimento do projeto, estas possibilidades foram sendo descartadas. Em primeiro lugar, optou-se pelo uso do microcontrolador PIC16F877, ao invés do Arduíno. Esta escolha se deveu ao fato de que o microcontrolador PIC16F877, possui uma gama maior de informações disponíveis e maior facilidade de programação.

Para o acionamento da lâmpada e controle de sua luminosidade, vários testes foram realizados, tanto com o Arduino quanto com o PIC16F877. No entanto, tais tentativas resultaram em insucessos. Em situações estáticas, o uso do TRIAC é relativamente simples: a partir do ponto de cruzamento por zero do sinal da rede elétrica, é realizado o disparo do mesmo, de modo a se obter o controle de potência, ou seja, quanto de cada semiciclo deve ser aplicado à carga.

Neste projeto, o controle lógico é feito de forma dinâmica e depende da luminosidade captada pelo LDR. O microcontrolador lê o LDR e estabelece qual o nível de potência deve

ser aplicada à lâmpada. Com o uso do TRIAC, seria necessário sincronizar, a passagem do ponto de cruzamento por zero do sinal da rede elétrica, com a leitura do LDR e consequente cálculo do ângulo de disparo do TRIAC. Não foi possível, através de programação, a realização desta tarefa. Devido ao tempo insuficiente para realização de mais testes, optou-se pelo controle em PWM e utilização de lâmpada em corrente contínua. Na Figura 4.4 é mostrado o diagrama esquemático do circuito com o TRIAC, feito no software Proteus.

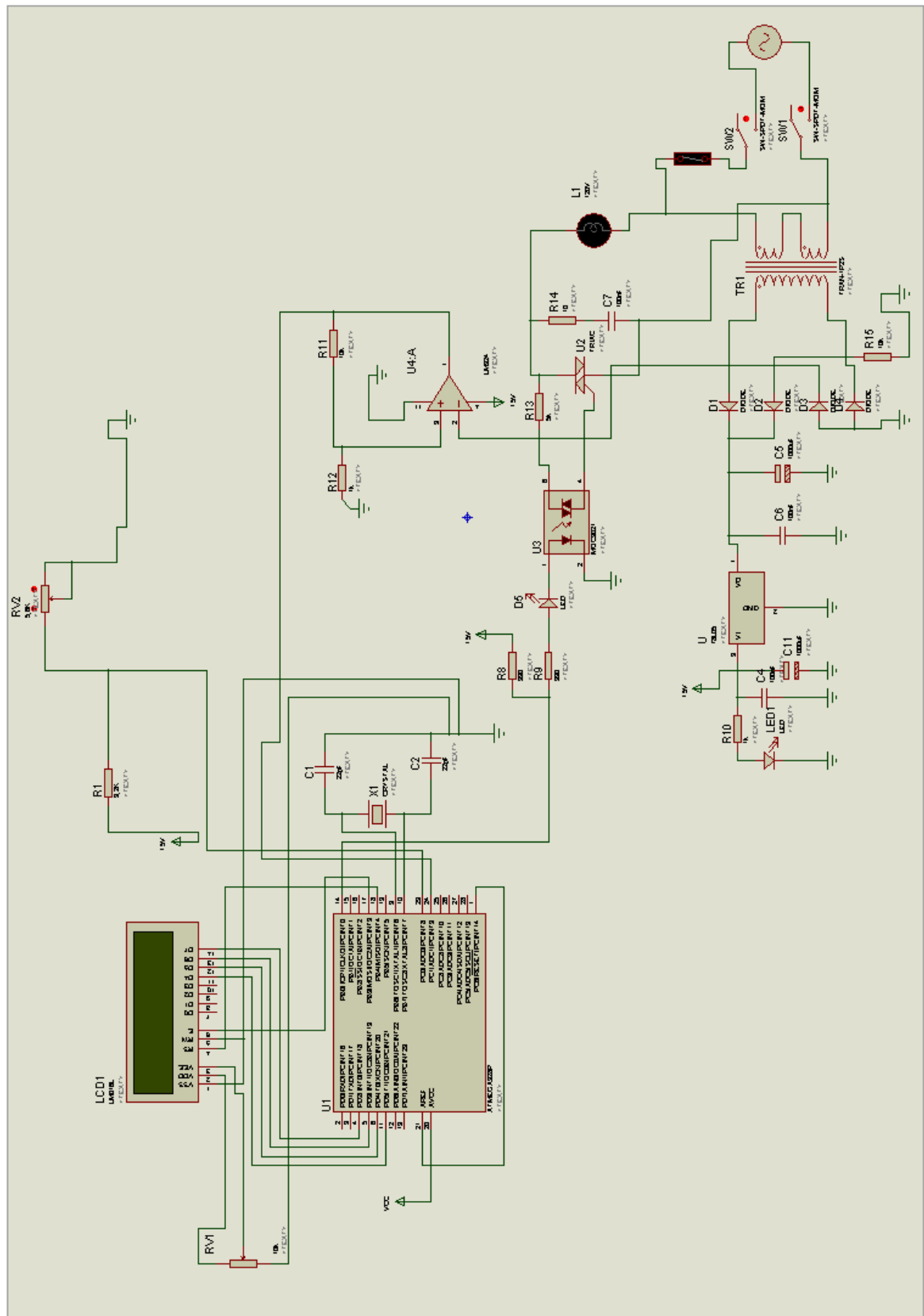


Figura 4.4– Diagrama esquemático proposta inicial

4.3 – O Sistema de Controle de Luminosidade – Desenvolvimento da Proposta Final

Conforme descrito nos tópicos anteriores, o uso do TRIAC, do controle AC e lâmpada incandescente foram descartados. Iniciando uma nova etapa de testes utilizando o controle de potência por PWM. Inicialmente, foram realizados apenas testes de software utilizando LED, com o objetivo de verificar a efetividade do controle de potência por PWM, por meio da variação da luminosidade do LED. Os testes realizados foram bem sucedidos, comprovando a efetividade do controle por PWM, desta forma iniciou-se os testes com lâmpadas DC de 12 V.

No comércio local foram adquiridos dois tipos de lâmpadas DC, sendo uma incandescente de 40 W e outra halógena dicróica de 50 W. Em laboratório foram realizados testes utilizando estas lâmpadas e o luxímetro, para verificar a variação de iluminamento. Nos testes realizados a lâmpada dicróica alcançou 2000 lux, e lâmpada incandescente, apenas 600 lux. Sendo assim optou-se a lâmpada dicróica para os testes seguintes, por esta atingir um maior nível de iluminamento.

Na figura 4.5 é mostrado o diagrama de blocos do circuito utilizado para estes testes.

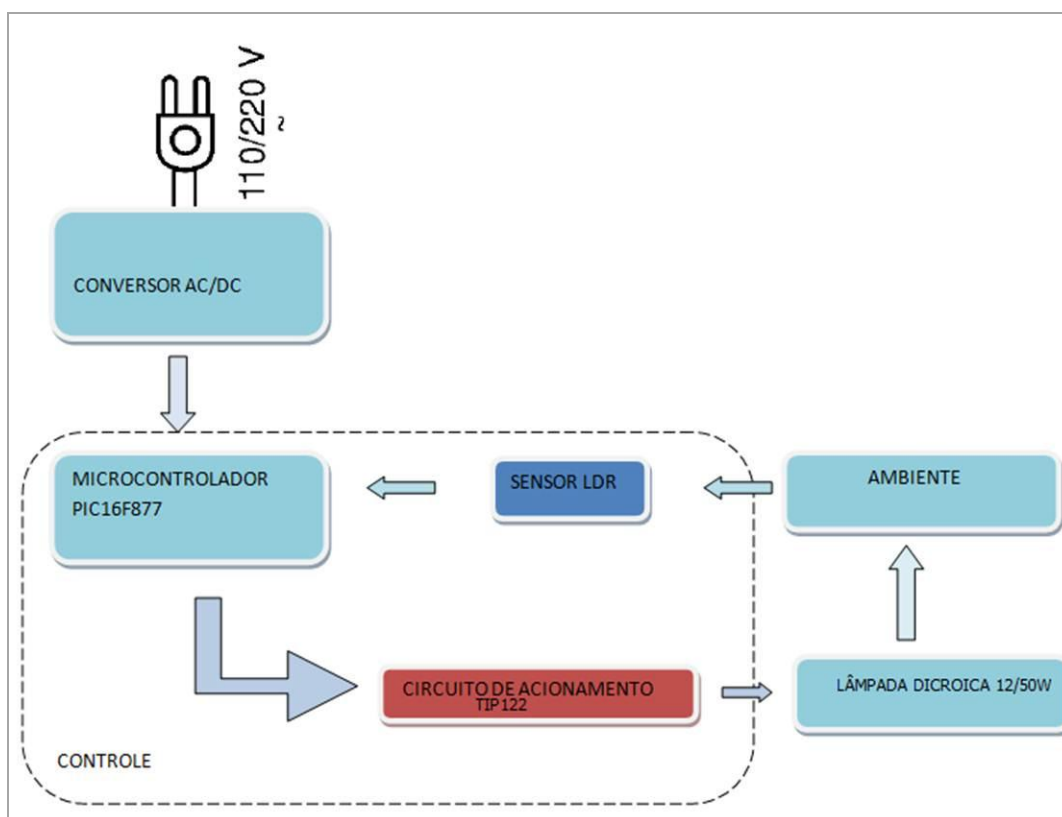


Figura 4.5– Diagrama de blocos do controle de luminosidade utilizando PWM e lâmpada dicróica de 12 V

Na figura 4.6 é mostrado o diagrama esquemático do circuito desenvolvido no software Proteus ISIS Professional 7.

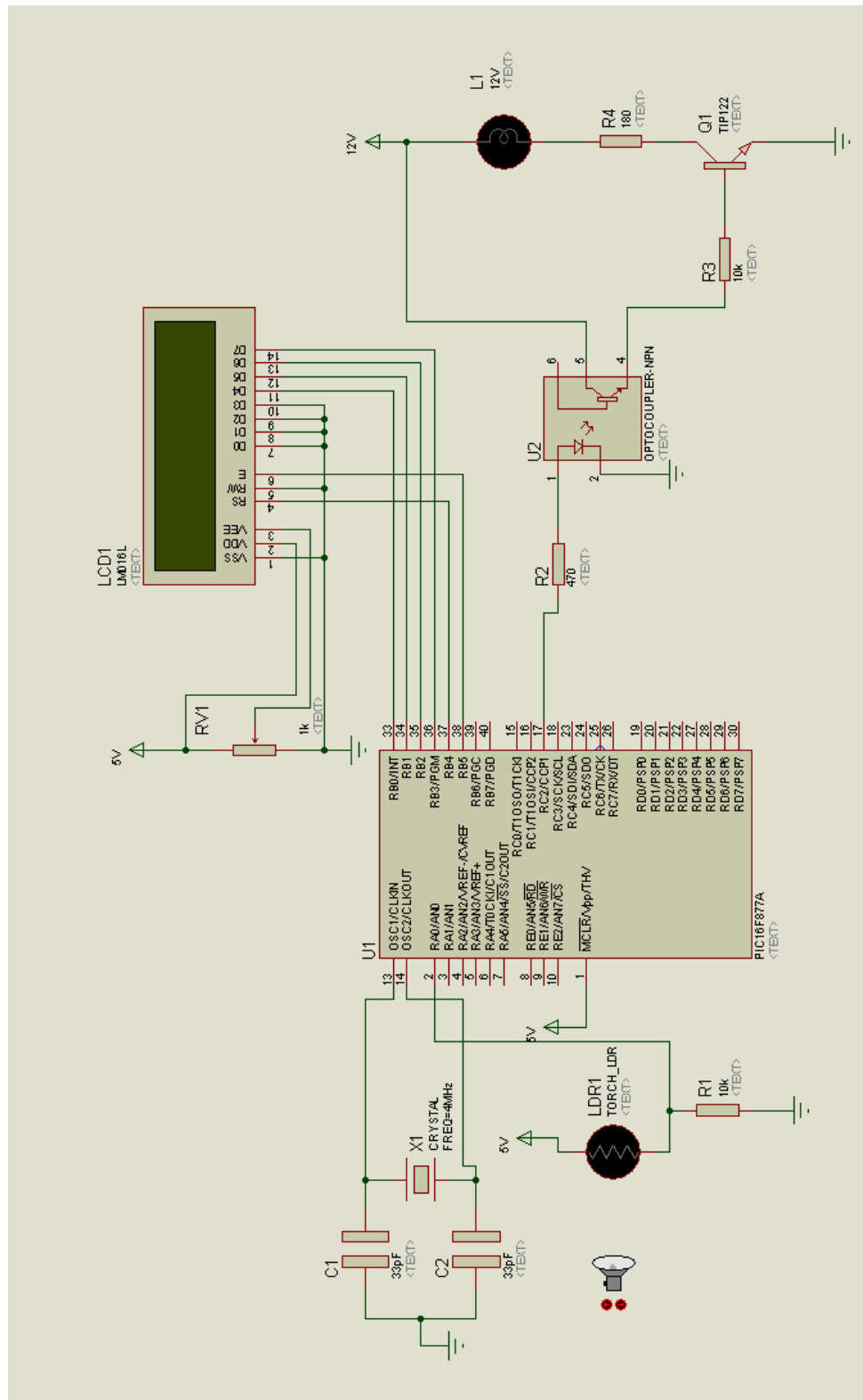


Figura 4.6– Diagrama esquemático do circuito para controle de luminosidade com lâmpada dicroica de 12 V

4.4 – A Implementação do Circuito Proposto

A seguir são apresentados os segmentos do circuito proposto para o controle de luminosidade da lâmpada microíica de 12 V, evidenciando suas funcionalidades.

Na tabela 7 estão apresentados os pinos do microcontrolador que foram utilizados no circuito e sua conexão com cada componente:

Tabela 7 – Associação dos pinos do microcontrolador com os dispositivos do projeto

Número	Pinos	Dispositivos
1	MCLR/Vpp	Reset. O microcontrolador só funciona quando o sinal estiver em nível alto
2	RA0	Entrada analógica. Captura da luminosidade através do LDR
11	VDD	Alimentação do microcontrolador, 5V
12	VSS	Terra
13	OSC1/CLKIN	Entrada do oscilador cristal
14	OSC2/CLKOUT	Saída do oscilador cristal
17	RC2 CCP1	Saída do sinal PWM para a lâmpada
33	RB0	Display – Dados
34	RB1	Display – Dados
35	RB2	Display – Dados
36	RB3	Display – Dados
37	RB4	Display – Seleciona registrador
38	RB5	Display - Habilitação
39	RB6	Entrada do sinal do botão

Fonte: Próprio Autor

Na figura 4.7 são apresentados os pinos utilizados do microcontrolador PIC 16F877.

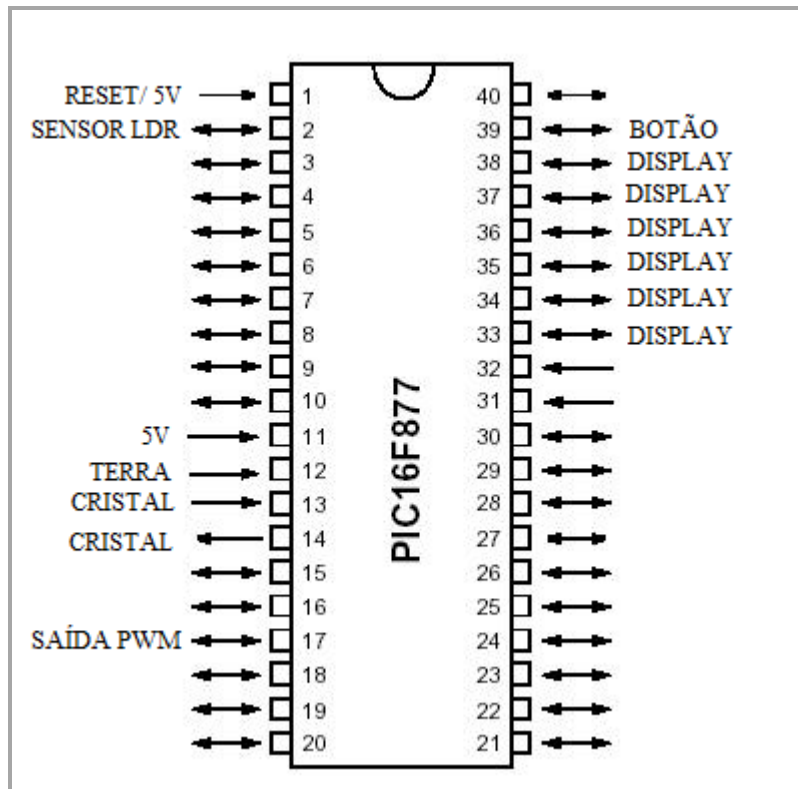


Figura 4.7 – Associação dos pinos do microcontrolador com os dispositivos do projeto

4.4.1 – Segmento de sincronismo do microcontrolador

Para estabelecer o sincronismo entre os ciclos de máquina do microcontrolador e as instruções processadas, foi utilizado um cristal de sincronismo conectado aos pinos treze e catorze do microcontrolador, conforme recomendações da sua folha de dados. O cristal utilizado neste circuito tem uma frequência de 4Mhz (megahertz). Sem a presença do cristal, o sincronismo do microcontrolador não pode ser realizado. Na figura 4.8 pode ser visto o segmento de sincronismo.

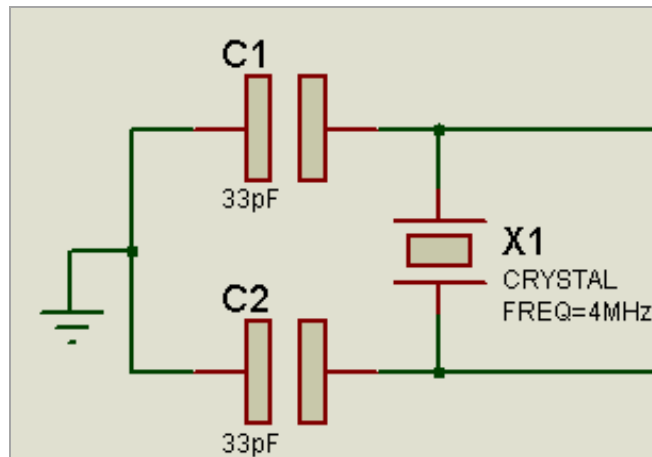


Figura 4.8 – Segmento de sincronismo

Os capacitores C1 e C2 de 33pF (pico Faraday) estabilizam a frequência do cristal, diminuindo a margem de erro. Esta recomendação está presente na folha de dados do microcontrolador.

4.4.2 – Segmento de exibição de dados

Para exibição dos dados, é utilizado no circuito um display de cristal líquido do tipo 2x16. O software desenvolvido exibe inicialmente uma mensagem informando o nível máximo de iluminação que pode ser escolhido, como pode ser visto na função mostrada a seguir.

```
while(time<=300){
    Lcd_Out( 1, 1, "Escolha o iluminamento:");
    Lcd_Out( 2, 1, "Min-200 Max-1200");
    if(portb.rb6==0){
        break;}
    else{
        time++;}
}
```

Nesta função é mostrado no display o nível de iluminação que o usuário pode escolher, sendo definido 200 lux como iluminação mínimo e 1200 como iluminação máximo, para a escolha, este intervalo é utilizado pelo fato de terem sido estes os valores obtidos em teste com a lâmpada de LED utilizada.

Após mostrar o nível de iluminação que pode ser escolhido para o controle da luminosidade, o sistema inicia um *loop*, variando o iluminamento exibido no display em

intervalos de 100 em 100, até que o usuário faça a escolha do iluminamento desejado para o ambiente, apertando o botão implementado no circuito.

```
do{           //Loop infinito
  if(portb.rb6==1&&ilum<1200){ //Escolha do iluminamento
    ilum = ilum + 100;
    delay_ms(100);
  }
  else{
    if(portb.rb6==1&&ilum==1200){
      ilum = 100;
      delay_ms(100);
    }
  }
}
```

Na função mostrada anteriormente, pode ser observado o *loop* implementado para a escolha do iluminamento, sendo a função `portb.rb6` encarregada de realizar a leitura da porta RB6, onde encontra-se conectado o botão. Se a leitura realizada pela porta for igual a zero, o programa sai do *loop* e inicia o processo de controle da luminosidade.

Após a escolha é exibido na primeira linha do display o valor de iluminamento escolhido pelo usuário. Na segunda linha do display é exibido o incremento ou decremento dos valores aplicados à função PWM.

A seguir é apresentado o trecho do código que realiza este procedimento. O software completo encontra-se no apêndice B desta monografia.

```
LongToStr( ilum, Text ); // Converte valor escolhido pelo usuário, em texto
LongToStr( i, Text2 );   // Converte valor de incremento do PWM em texto
Lcd_Out( 1, 1, Text);    //Informa na primeira coluna do Display LCD o valor lido pelo LDR
delay_ms(100);           //Retardo de 100 ms
Lcd_Out( 2, 1, Text2);   //Informa na segunda coluna do Display LCD o valor do incremento do módulo PWM
delay_ms(100);           //Retardo de 100 ms
```

De acordo com as rotinas de programação, todos os pinos de 1 a 14 são utilizados para transmissão de dados a serem exibidos no display. Os pinos um e dois, VSS e VDD alimentam com 5V o dispositivo. O pino três, VEE, é ligado a um potenciômetro de 1K para regular o contraste do display. O pino quatro, RS, recebe dados enviados pelo microcontrolador que indicam se o dado presente no barramento é um comando ou um dado. O pino cinco, R/W, está aterrado, já que não é utilizado, e lê o sinal enviado pelo microcontrolador e verifica se um dado será lido ou gravado no display. O pino seis, E, é uma

porta de controle, que habilita o display a aceitar dados ou instruções vindas do microcontrolador. Os pinos de sete a quatorze recebem os dados enviados pelo microcontrolador, sendo que do número sete ao dez não estão sendo utilizados, ficando assim ligados ao terra.

A figura 4.9 mostra o segmento de exibição de dados ao usuário.

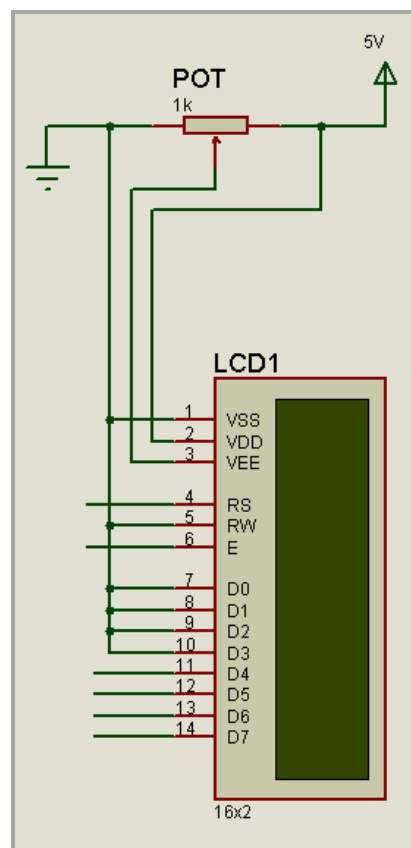


Figura 4.9 – Segmento de exibição de dados

4.4.3 – Segmento de captação da luminosidade

Para captação da luminosidade do ambiente foi utilizado o LDR pequeno, escolhido na fase de testes, conforme mencionado no item 4.1 deste capítulo. O sensor LDR foi ligado a um resistor 10 k Ω formando um circuito divisor de tensão. De forma que a luminosidade é captada pela porta analógica A0, por meio da tensão sobre o sensor LDR.

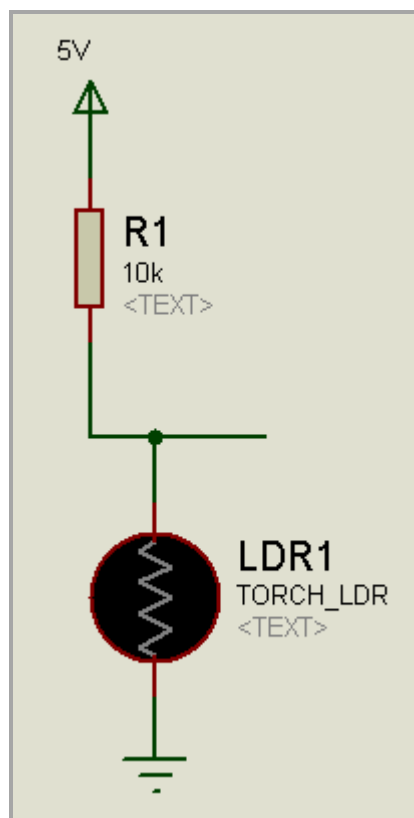


Figura 4.10 – Segmento de captação da luminosidade

A resistência do LDR, a qual é associada à luminosidade obtida, é determinada pelo microcontrolador utilizando a seguinte expressão dentro do código:

```
Radc=ADC_Read(0); //Leitura da porta C - LDR
Ldr = (Radc*48.87585533)/(5.0-Radc*0.004887585); //Conversão do sinal analógico em digital
```

A função `ADC_Read(0)` faz parte da biblioteca do microcontrolador, realiza a leitura da porta analógica A0.

Neste trecho de código é apresentado também, a conversão do sinal analógico em sinal digital. A função realizada baseia-se na seguinte expressão: $V_{Ldr} = (Ldr * 5 \text{ V}) / (R1 + Ldr)$. Da expressão anterior obtém-se que o valor da resistência do Ldr é dado pela seguinte expressão: $Ldr = (V_{out} * R1) / (5 \text{ V} - V_{out})$, onde V_{out} é a tensão sobre o Ldr. O valor obtido pela porta analógica é convertido em sinal DC da seguinte forma: $V_{adc} = (Radc * 5 \text{ V}) / 1023 = Radc * 0,004887585$, sendo V_{adc} a tensão DC sobre o Ldr. O valor 1023 se refere à resolução do conversor AD do microcontrolador, que é de 10 bits. Substituindo o valor de V_{adc} na expressão para obtenção da resistência do LDR, temos: $Ldr = (Radc * 0,004887585 * 10 \text{ k}) / (5 - Radc * 0,004887585)$.

4.4.4 – Segmento de acionamento e controle de luminosidade da lâmpada

Na figura 4.11, é apresentado o segmento de acionamento e controle de luminosidade da lâmpada.

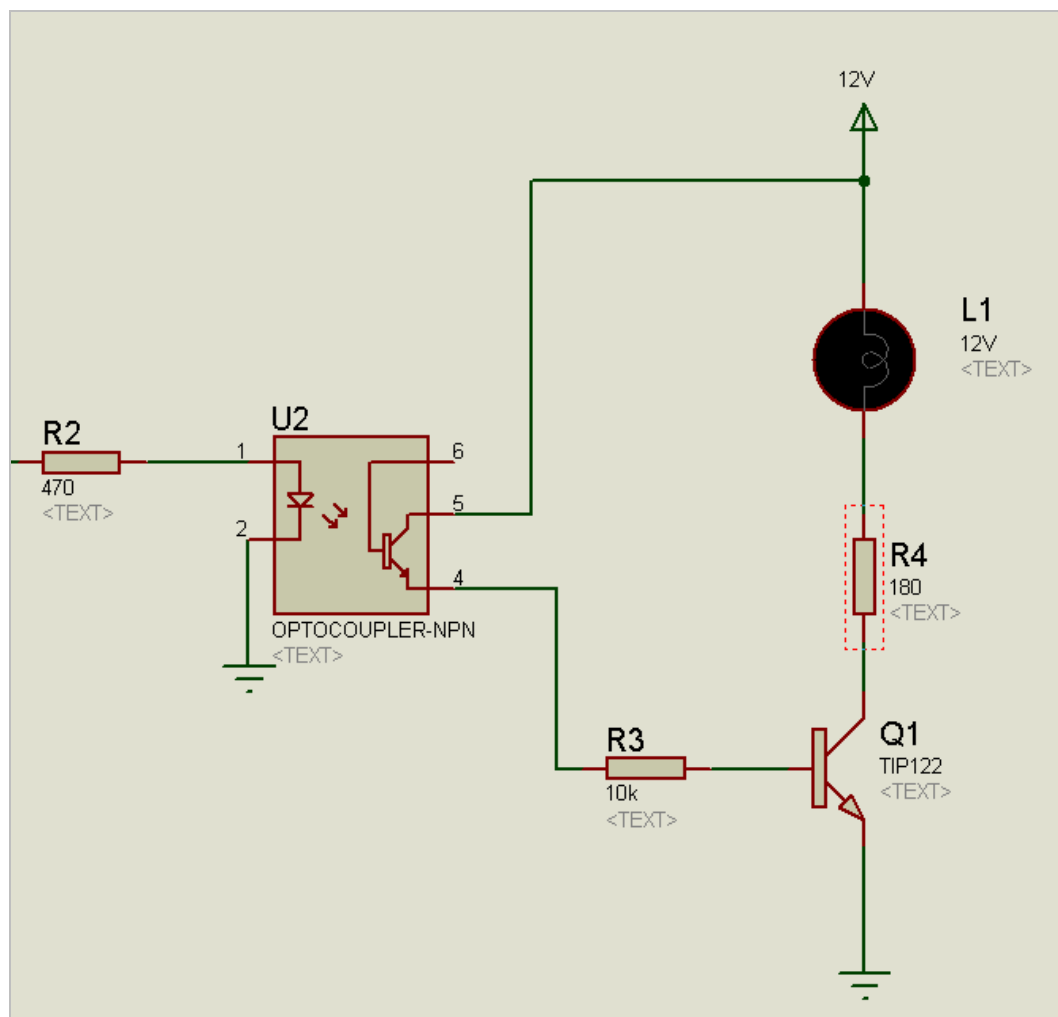


Figura 4.11 – Segmento de acionamento e controle de luminosidade da lâmpada

Devido à lâmpada ser acionada em 12 V, foi utilizado o acoplador ótico 4N25, para o isolamento do circuito de 12 V. O acionamento da lâmpada é realizado pelo transistor TIP122, utilizado como chave eletrônica. O controle de potência da lâmpada e consequente variação de sua luminosidade são feitos pela porta PWM do microcontrolador, ligado ao resistor R2, de 470 Ω. As funções utilizadas no código para o controle PWM são descritas a seguir, e também fazem parte da biblioteca do microcontrolador.


```
Pwm1_Init(5000); //Configura o módulo PWM com a frequência de 5KHz
Pwm1_Start();    //Início do sinal PWM
```

Para a utilização do módulo PWM no código, foi necessário efetuar a configuração inicial para a modulação do sinal. A função Pwm1_Init(5000) foi usada para inicializar o PWM, assim sendo configurada com a frequência de 5000 Hz. A função Pwm1_Start() inicia uso do PWM no código.

Antes de iniciar o envio do sinal PWM para a lâmpada, variando sua potência, foi necessário realizar a comparação da leitura realizada pelo sensor LDR e o iluminamento escolhido pelo usuário, conforme mencionado anteriormente. O uso dos valores apresentados na tabela 8 foi necessário devido ao fato de não ter sido possível o uso de uma expressão matemática relacionando a resistência do LDR com o iluminamento, como foi descrito no item 4.1.1. Para isso foi realizado um teste, no qual foi feita uma relação entre a resistência mostrada no display LCD e o iluminamento mostrado pelo luxímetro. A tabela 8 mostra esta relação obtida através dos testes.

Tabela 8 – Relação entre iluminamento e resistência

ILUMINAMENTO	RESISTÊNCIA LDR (Ω)
200	3460
300	2583
400	2120
500	1840
600	1651
700	1494
800	1366
900	1278
1000	1204
1100	1131
1200	1071

Fonte: Próprio Autor

A figura 4.12 ilustra o teste realizado para obtenção dos valores contidos na tabela 8.

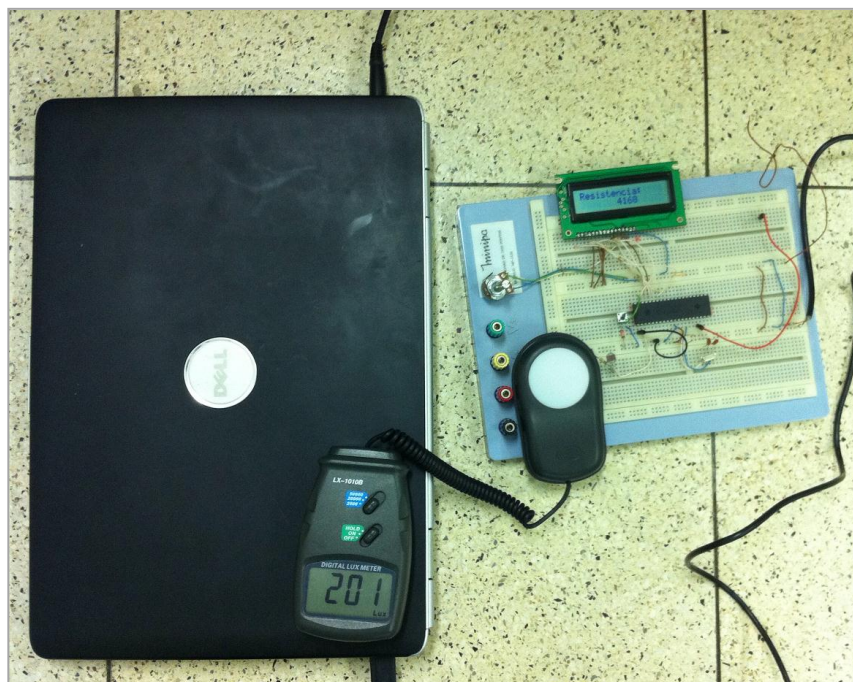


Figura 4.12 – Testes para relação entre resistência do LDR e iluminamento

No trecho do código a seguir é mostrado como o iluminamento escolhido pelo usuário é associado à resistência do LDR, conforme os valores obtidos na tabela 8.

```
switch(ilum){
    case 200: {
        valor=3460;
        break;}
    case 300: {
        valor=2583;
        break;}
    case 400: {
        valor=2120;
        break;}
    case 500: {
        valor=1840;
        break;}
    case 600: {
        valor=1651;
        break;}
    case 700: {
        valor=1494;
        break;}
    case 800: {
        valor=1366;
        break;}
    case 900: {
        valor=1278;
        break;}
    case 1000: {
        valor=1204;
        break;}
    case 1100: {
        valor=1131;
        break;}
}
```

O valor obtido no trecho do código anterior é subtraído do valor do LDR obtido pela leitura do conversor A/D, conforme visto anteriormente, e atribuído à variável dif, conforme trecho do código a seguir.

```
dif = Ldr-valor;          //Cálculo entre a subtração da leitura com o valor escolhido pelo usuário
```

O valor obtido na variável dif é utilizado para determinar se o nível de iluminação do ambiente está acima ou abaixo do valor escolhido pelo usuário. A seguir pode ser visto o trecho do código que realiza o controle do sinal PWM enviado à lâmpada, para a variação da potência e consequentemente da luminosidade.

```
if(Ldr<=820){           //Se a resistência do Ldr estiver igual ou abaixo de 820 (ambiente muito iluminado)
    Pwm1_Set_Duty(0);    //Desliga a lâmpada
    delay_ms(10);        //Retardo de 10 ms
}
else{                   //Caso contrário se a resistência estiver maior do que 820
    if(dif>0&&i<255){    //Se diferença entre a leitura do LDR e o iluminamento desejado for maior que zero e i for menor que 255
        i= i + 0.50;     //incrementa o valor de i
        Pwm1_Set_Duty(i); //Designa o valor i no PWM
        delay_ms(10);    //Retardo de 10 ms
    }
    else{
        if(dif>0&&i==255){ //Se o i for 255
            Pwm1_Set_Duty(i); //Designa o valor 255 ao módulo PWM
            delay_ms(10);    //Retardo de 10 ms
        }
        else {
            if(dif<0&&i>0){ //Se a diferença entre a leitura do LDR e o iluminamento desejado, for menor que 0 e i diferente de 0
                i= i- 0.50; //decrementa o valor i
                Pwm1_Set_Duty(i); //Designa o valor i no PWM
                delay_ms(10); //Retardo de 10 ms
            }
        }
    }
}
```

Se a resistência do Ldr estiver igual ou abaixo de 820 Ω , ou seja ambiente muito claro, a lâmpada é desligada. Neste caso a função Pwm1_Set_Duty() é setada em zero. Caso contrário é testada a variável dif, se dif for maior que zero significa que o iluminamento está abaixo do escolhido, sendo necessário incrementar o valor de i. A variável i interfere diretamente no valor do *duty cycle* (largura do pulso), variando de 0 a 255, sendo que zero significa 0% da largura total e 255 é 100%.

Quando o valor de dif for menor que 0, ou seja iluminamento acima do especificado, é decrementado o valor de i.

4.5 – Alteração Final do Circuito Proposto

Conforme dito anteriormente, após a opção de utilização de controle PWM e lâmpada DC, foram realizados testes utilizando lâmpada dicróica de 12 V. No entanto a lâmpada utilizada de 50 W necessitava de uma corrente relativamente alta para o seu funcionamento, na ordem de 4 ampéres.

Nos teste foi necessário a utilização da fonte de tensão do laboratório de eletrônica do UniCEUB, além do transistor de potência TIP 122 com dissipador, conforme ilustrado na figura a seguir.

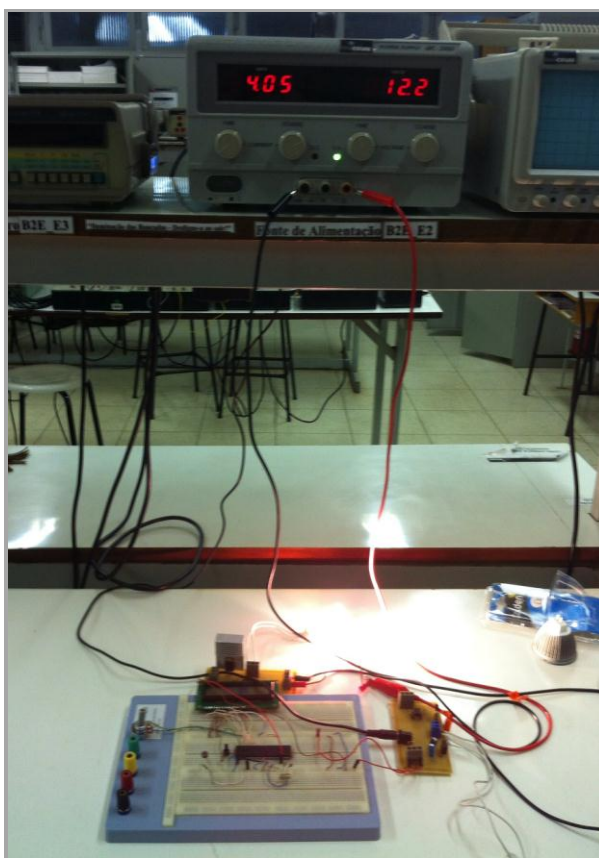


Figura 4.13– Testes com a fonte de 12 V do laboratório

Como este projeto desde seu inicio pretendia-se inserir no contexto da eficiência energética, optou-se pela substituição da lâmpada dicróica por uma de LED de 5 W,

reduzindo assim em 10 vezes o consumo. Devido ao baixo consumo da lâmpada de LED, a alimentação do circuito passou ser realizada por uma fonte de tensão comum de 12 V/ 1 A (conversor AC/DC) e o acionamento passou a ser feito por um transistor comum, BC548. Na figura 4.14 é apresentado o esquemático final do circuito proposto. Na figura 4.15 é mostrado o circuito completo implementado na fase final deste projeto.

Figura 4.14– Esquemático do Sistema de Controle de Luminosidade

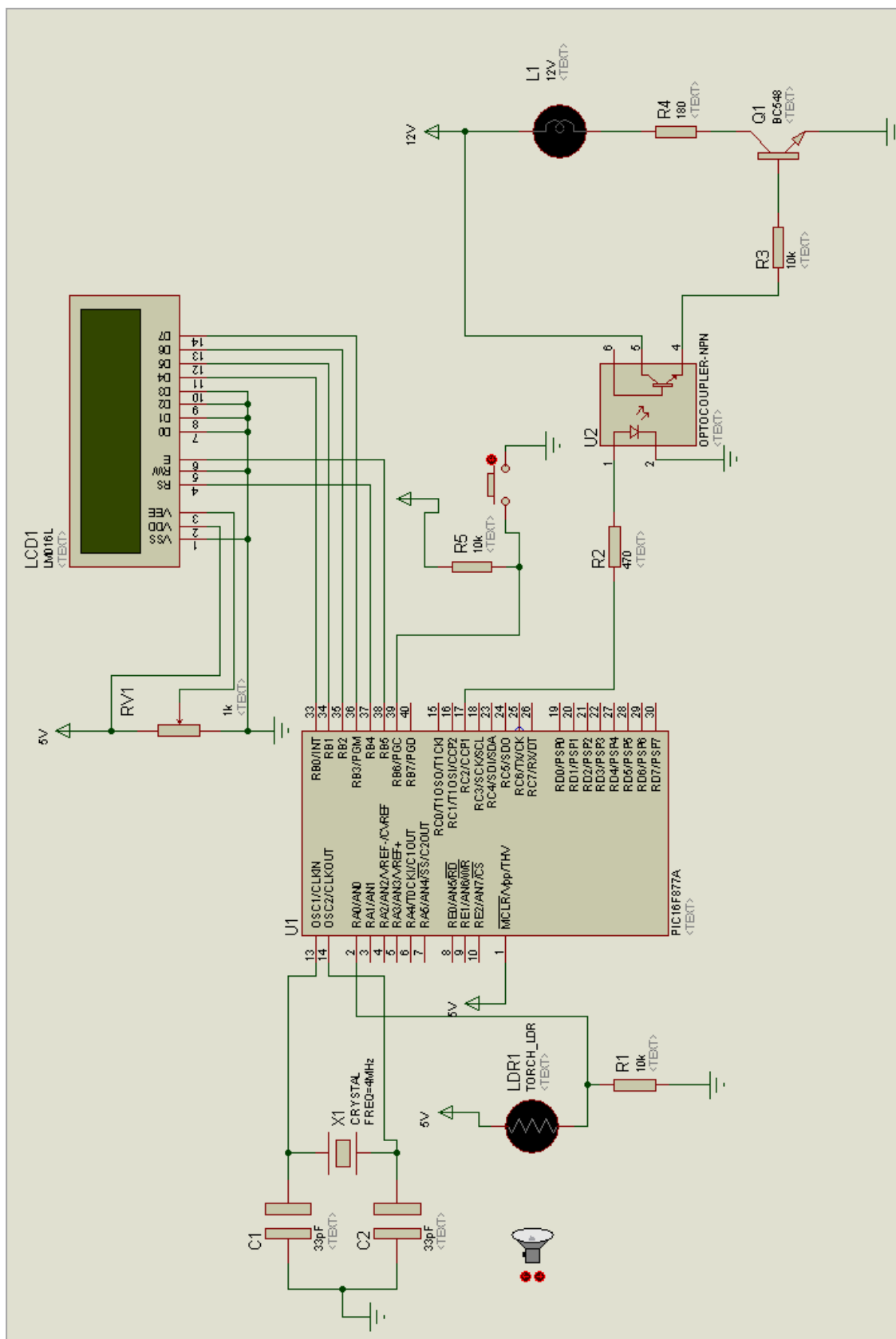


Figura 4.15– Circuito final proposto

CAPÍTULO5 – RESULTADOS E VALIDAÇÃO

5.1 – Validação do circuito final proposto

Neste capítulo são apresentados os resultados e testes obtidos com o circuito final proposto. Na figura 5.1 é apresentado o circuito completo implementado.

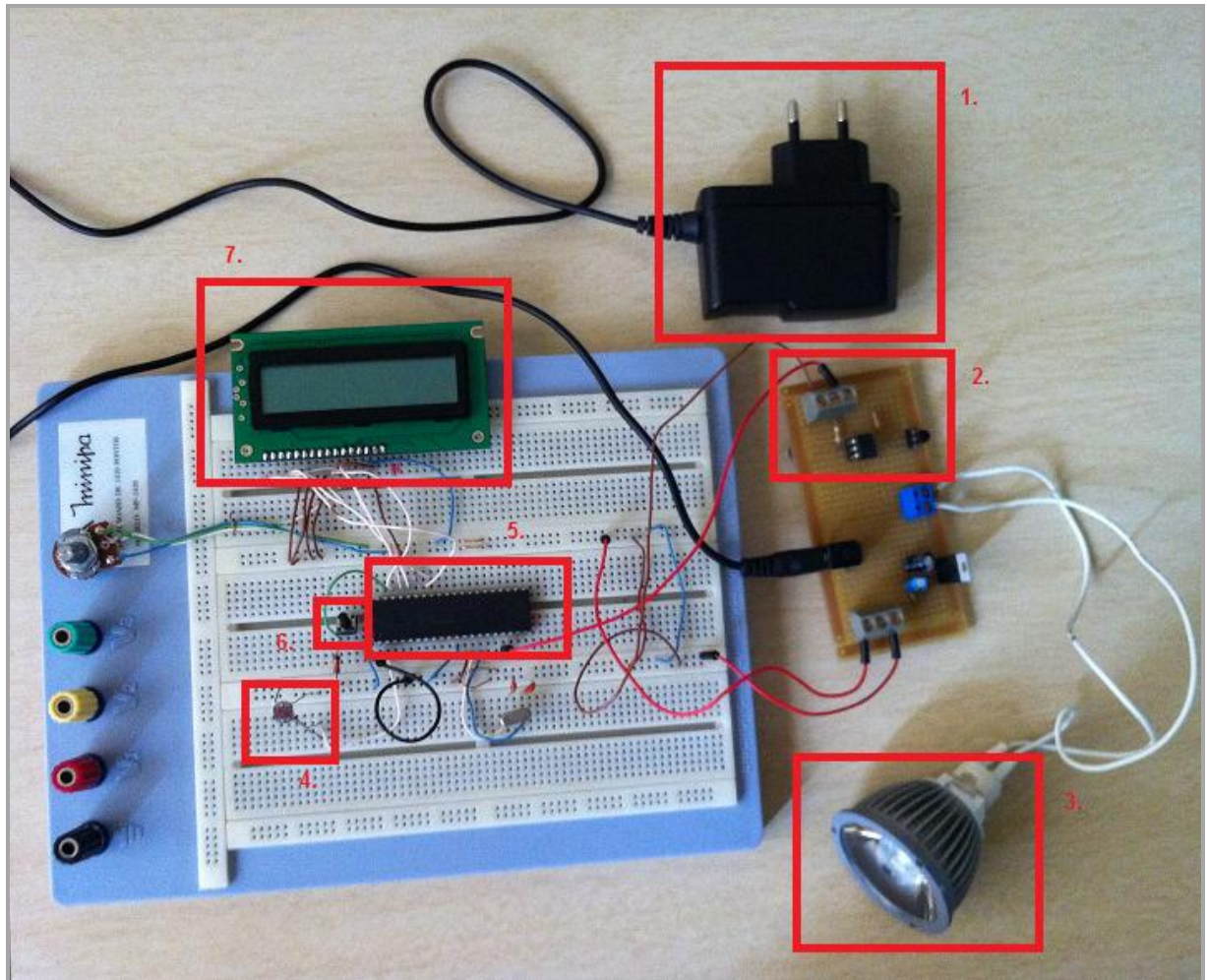


Figura 5.1– Circuito final proposto - hardware

Onde:

1. Conversor AC/DC
2. Circuito de acionamento
3. Lâmpada de LED
4. Sensor LDR
5. Microcontrolador PIC 16F877

6. Botão de acionamento

7. Display LCD 16x2

Ao ligar o circuito é apresentada a mensagem mostrada na figura 5.2.



Figura 5.2– Mensagem inicial do circuito

Após um pequeno intervalo de tempo o circuito passa a exibir em *loop* as opções de iluminação até que o usuário aperte o botão e escolha uma dessas. A figura 5.3 ilustra o usuário pressionando o botão.

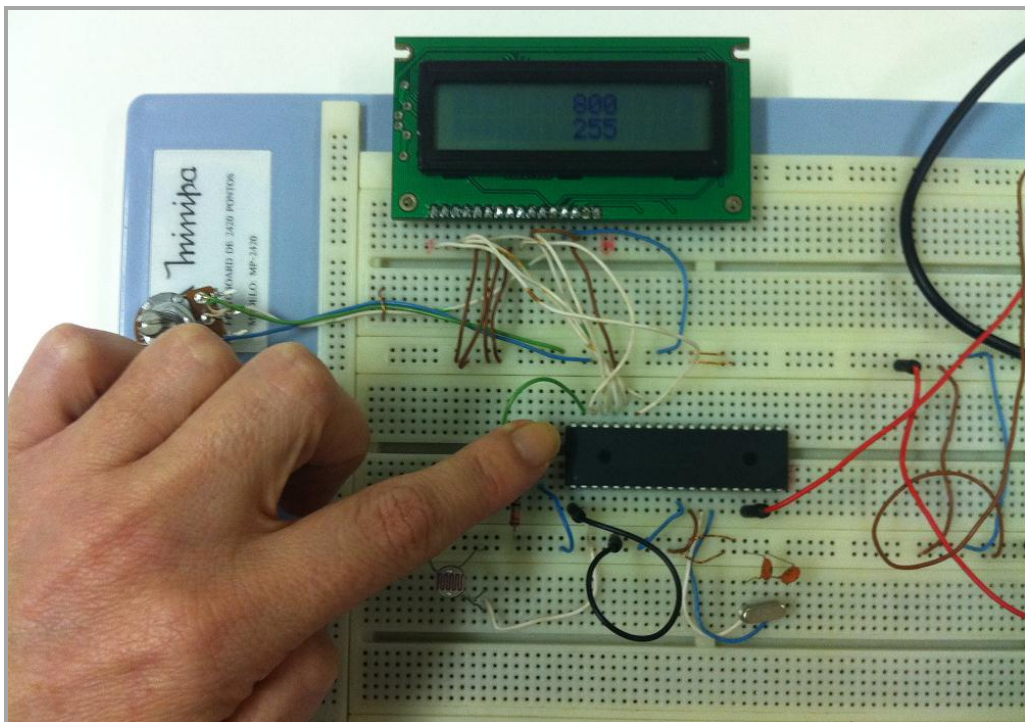


Figura 5.3– Escolha do iluminamento

Na figura 5.3, é informado na linha 1 do display, o iluminamento escolhido. Na linha 2, é informado o valor da variável i , responsável pela largura do pulso enviado ao circuito de acionamento da lâmpada. Na figura 5.4, o display exibido na figura 5.3 é mostrado em detalhe.

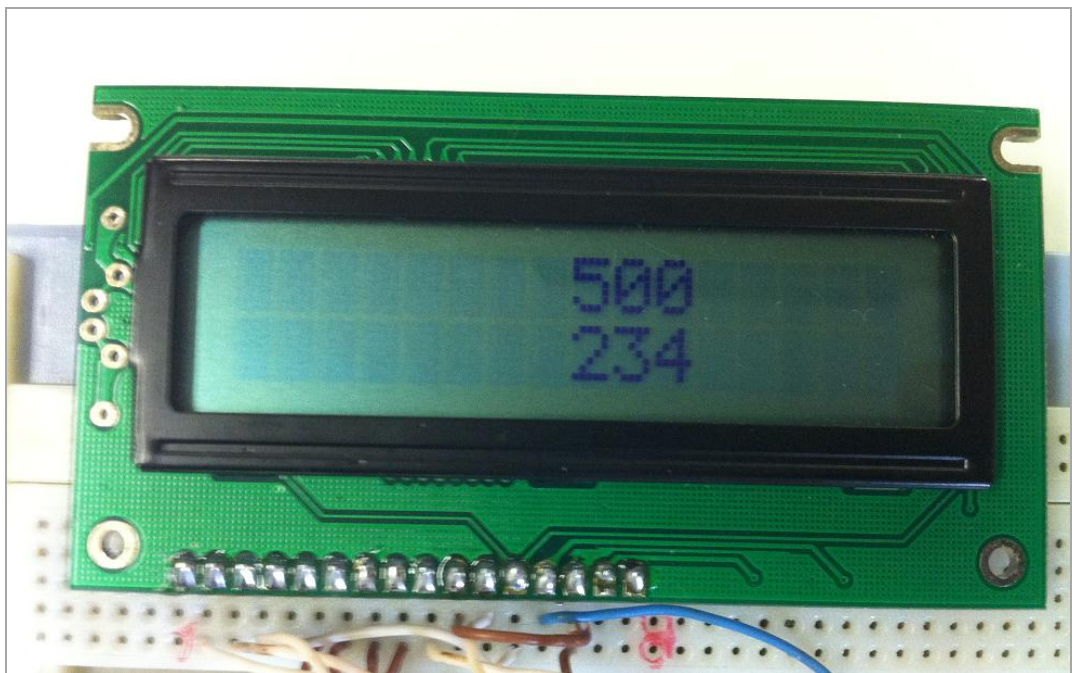


Figura 5.4– Mensagem mostrada no Display LCD após o iluminamento escolhido

Na etapa de controle da luminosidade foram utilizados dois luxímetros para a validação do funcionamento do circuito proposto. A seguir é apresentado a descrição de 3 testes realizados.

5.1.1 – Teste 1 - Ambiente com excesso de luminosidade

A figura 5.5 ilustra o ambiente com excesso de luminosidade incidente no sensor LDR, podendo ser observado que a lâmpada de LED está desligada pelo fato do iluminamento ser muito alto, ou seja, a resistência do LDR está abaixo de $820\ \Omega$.

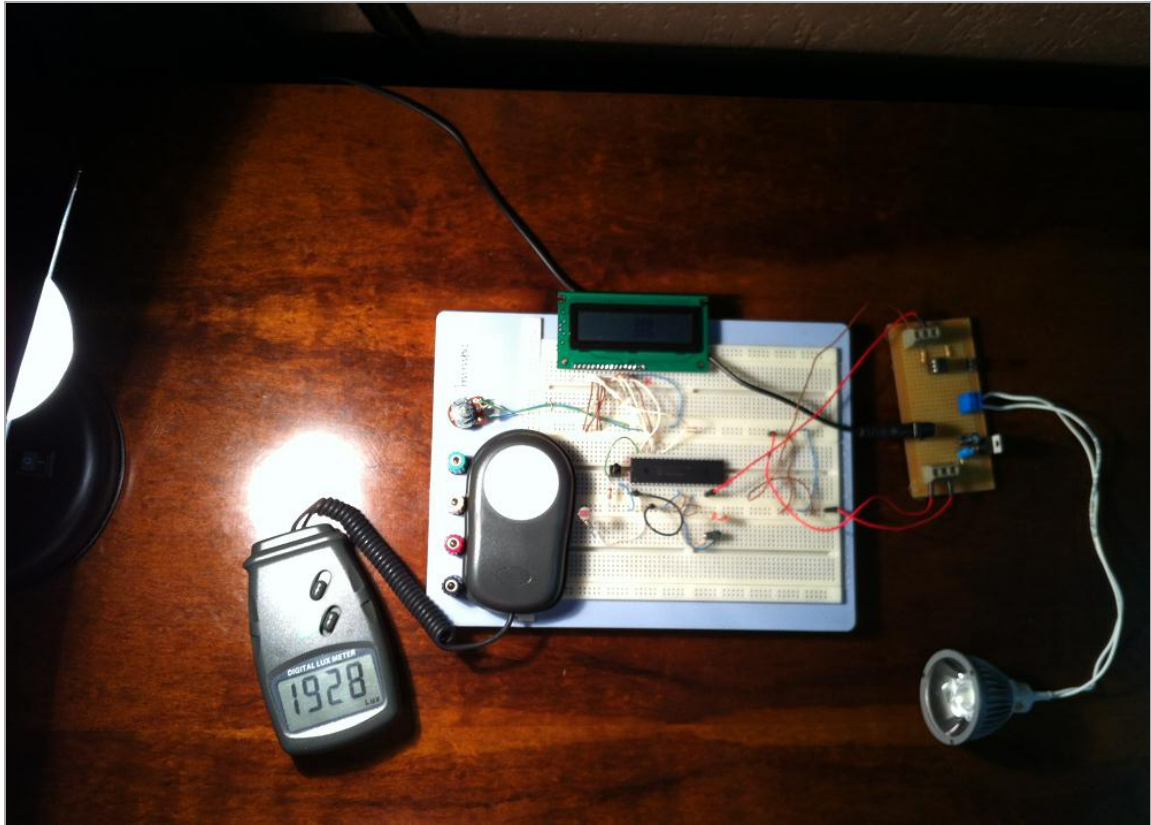


Figura 5.5– Circuito com luminosidade excessiva sobre o LDR

5.1.2 – Teste 2 - Ambiente com luminosidade insuficiente

A figura 5.6, ilustra o ambiente com iluminação insuficiente. Em seguida, na figura 5.7, é mostrado a lâmpada de LED ligada em sua potência máxima.

Um ponto deve ser ressaltado nas figuras 5.6 e 5.7: pode-se observar que na figura 5.6 é exibido no luxímetro 1, um iluminamento de 46 lux. Na mesma figura, o display exibe o iluminamento escolhido de 400 lux. Em seguida, na figura 5.7, o segundo luxímetro está indicando 807 lux. Neste caso, a luminosidade captada pelo LDR está baixo de 200 lux, o iluminamento mínimo exigido no programa. Portanto, para todo iluminamento, incidente sobre o LDR, que estiver abaixo de 200 lux, fará com que a lâmpada fique em seu iluminamento máximo.

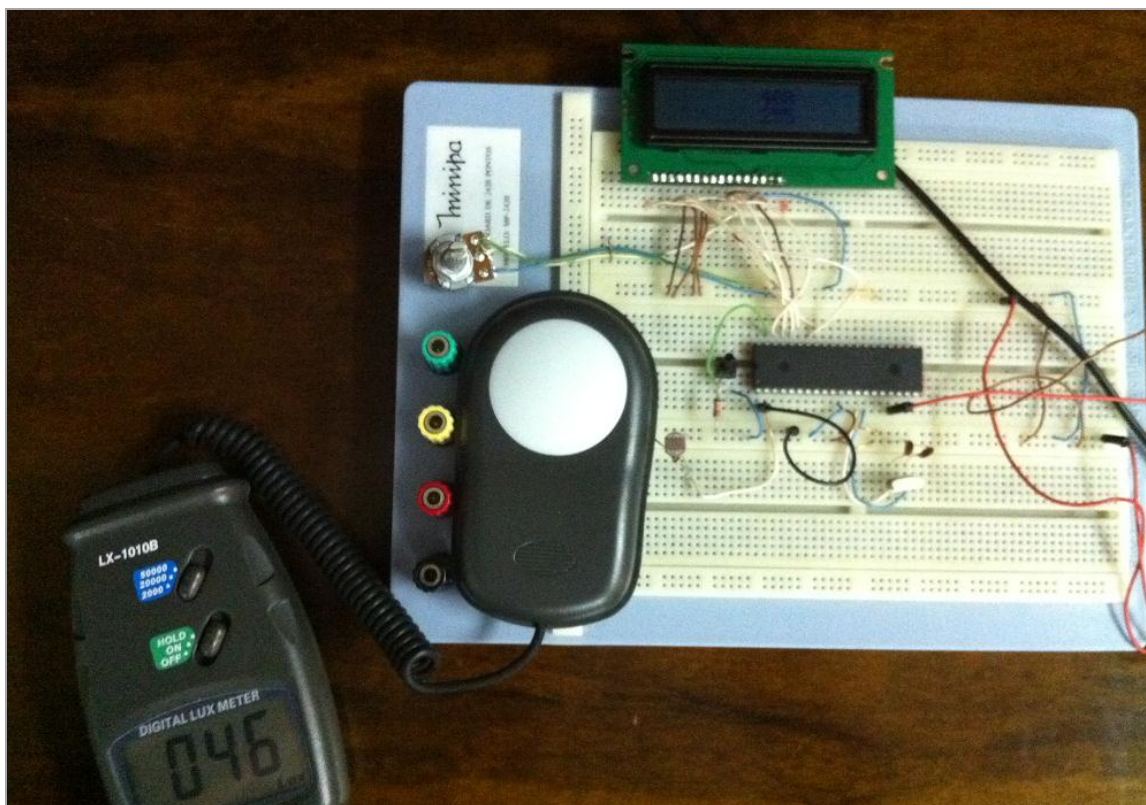


Figura 5.6– Circuito com luminosidade insuficiente sobre o LDR



Figura 5.7– Circuito com luminosidade insuficiente sobre o LDR

5.1.3 – Teste 3 - Ambiente com luminosidade intermediária

No terceiro teste, o iluminamento ambiente encontra-se na faixa entre 200-1200 lux, conforme estabelecida no programa. Para o teste, foi escolhido o iluminamento de 400 lux, conforme mostrada na figura 5.8. Nesta mesma figura, é possível observar o iluminamento de 1001 lux indicado no primeiro luxímetro.

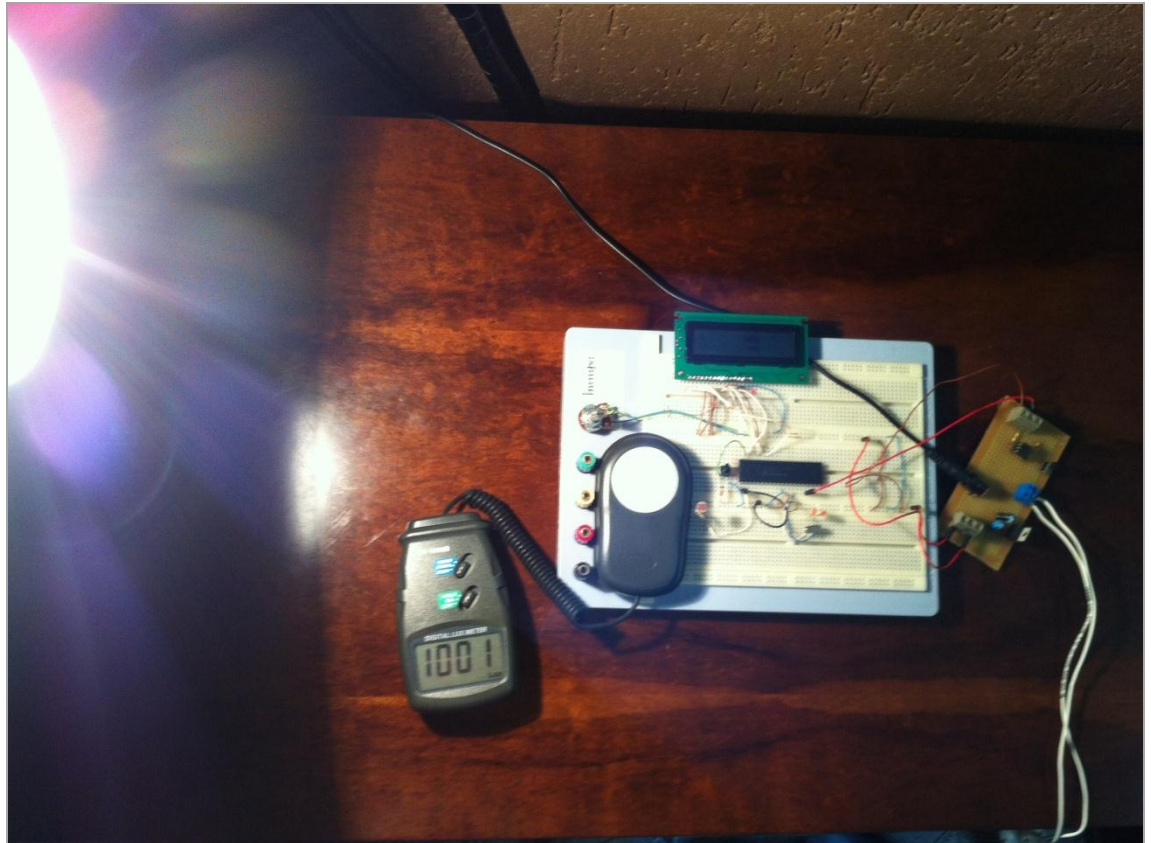


Figura 5.8– Circuito com luminosidade intermediária sobre o LDR

O circuito então começa a ajustar a potência da lâmpada para o iluminamento ajustado. Na figura 5.9, é mostrada o iluminamento da lâmpada, 376 lux.



Figura 5.9– Circuito com luminosidade intermediária sobre o LDR – luminosidade emitida pela lâmpada LED

5.1.4 – Comentários Finais

Nos testes realizados, pode-se observar que entre o iluminamento ajustado e o iluminamento emitido pela lâmpada, houve um erro da ordem de 30 lux. Este erro pode ser atribuído ao LDR, que é um componente não linear e que possui uma resistência que não se mantém constante no tempo, mesmo mantendo uma luminosidade constante sobre o mesmo. No entanto, a variação obtida não invalida o que foi proposto no projeto e pode ser considerada aceitável num trabalho de ordem acadêmica. É importante salientar que o uso do display seria dispensável em um circuito comercial, sendo apenas usado neste projeto para visualização e comprovação.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 – Conclusões

Tendo em vista que o consumo de energia elétrica no mundo, especialmente nos países mais desenvolvidos, tem crescido com o passar dos anos e que a iluminação é responsável por cerca de 24% do consumo no setor residencial, no Brasil, segundo a EPE; são necessárias medidas que tornem os sistemas de iluminação mais eficientes.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma proposta para elaboração de um protótipo de iluminação artificial, mais eficiente, agregando o uso de sensor de luminosidade, microcontrolador e controle de potência por PWM. Para isto, foi utilizado um sensor LDR para obtenção da luminosidade e microcontrolador para leitura deste sensor e ajuste da potência aplicada à lâmpada. A lâmpada utilizada foi uma lâmpada LED de 12 V, e o controle de sua potência foi realizado por meio de PWM.

O objetivo principal foi atingido, visto que o protótipo foi capaz de ajustar a iluminação artificial de acordo com a luminosidade natural incidente. Os resultados obtidos sugerem que o uso de lâmpadas LED (que por si só já reduzem consideravelmente o consumo, associadas às técnicas de automação) são uma interessante alternativa para projetos de iluminação, pois podem propiciar uma redução de consumo, ainda mais acentuada.

6.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, temos:

- 1) Implementar o sistema de iluminação utilizando controle de potência AC, por TRIAC, ao invés de controle de potência DC por PWM, utilizando lâmpadas de LED de 110 ou 220V, como fonte de iluminação artificial;
- 2) Fazer um estudo comparativo entre o uso deste sistema de iluminação com o sistema convencional, para avaliação da real redução do consumo.

CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. 2012. Fonte: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27>. Acessado em 06/06/2012.

ARAÚJO, Guilherme A.M. Avaliação dos ganhos em eficiência energética em iluminação adotando a regulamentação de etiquetagem em edificações. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.

BARR, Michael. Embedded systems programming [online]. Embedded.com. Fonte: <http://www.embedded.com/story/OEG20010821S0096>. Acessado em 10/05/2012.

BERMUDEZ, Arturo Sandoval. Proteus (Isis, Ares).

BOYLESTAD, R.; Nashelsky, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de circuitos, Pearson Prentice Hall, 8ª edição, 2004.

BRAGA, Newton C. O que é PWM. Fonte: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a.html>. Acessado em 15/05/2012.

CAVALIN, C. e CERVELIN, S. Instalações Elétricas Prediais, 12ª Edição, São Paulo: Editora Érica Ltda, 2005.

CHESMAN, Carlos, MACEDO, Augusto & ANDRE, Carlos. Física Moderna Experimental e Aplicada. Editora Livraria da Física, 2004.

CREDER, H. Instalações Elétricas, Livros Técnicos e Científicos Editora, São paulo, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Fonte: <http://economia.ig.com.br/empresas/infraestrutura/epe+consumo+de+energia+elettrica+cresce+78+em+2010/n1237967013134.html> (Acessado em 08/09/2011).

GEOGEBRA. Software de Geometria Dinâmica. 2011. Fonte: <http://www.geogebra.org/cms/>. Acessado em 10/10/2011

GIMENEZ, S. P. Microcontroladores 8051. 1ª ed. São Paulo: Pearson, 2005.

LECHETA, Leandro Pires. Sistemas de iluminação residencial: Uma análise sobre alternativas para a redução do consumo de energia elétrica. Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2006.

LUZ, Jeanine Marchiori da. Luminotécnica. Unicamp. Fonte: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf> (Acessado em 22/05/2012).

MAXIMA. Sistema de Álgebra Computacional. 2011. Fonte: <http://maxima.sourceforge.net> (Acessado em 19/10/2011).

MIKROELEKTRONIKA. Ferramenta de desenvolvimento, compiladores e livros. 2012. Fonte: <http://www.mikroe.com/eng/products/view/7/mikroc-pro-for-pic/> (Acessado em 30/05/2012)

MORISHITA, Claudia. Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro, Dissertação de mestrado. Florianópolis, SC, 2011.

PAIOTTI, R. As dificuldades de trabalhar com Microcontroladores no Brasil. Publicado em: 30 mar. 2009. Disponível para assinantes em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1218>> (Acessado em 29/05/2011)

PROCELINFO, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. 2012. Fonte: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B4CC4F5C8-DE07-4E50-9F61-CED15C904533%7D>. Acessado em 06/06/2012

REZENDE, Sérgio M. Materiais e Dispositivos Eletrônicos. 2ª. Ed. São Paulo, Livraria da Física, 2004.

ROBBINS, C. L. Daylighting: Design and Analysis. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

RODRIGUES, Pierre. PROCEL, Manual de Iluminação Eficiente. 1ª edição, 2002. Fonte: http://www.cqgp.sp.gov.br/grupos_tecnicos/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_iluminacao.pdf Acesso em 05/10/2011

SÁ, Mauricio Cardoso de. Programação C para Microcontroladores 8051. 1 ed. São Paulo: Érica, 2005.

SEBRAE. O que é eficiência energética. 2012. Fonte: <http://www.sebrae.com.br/setor/agroenergia/o-setor/inovacao-e-tecnologia/eficiencia-energetica>. Acessado em 07/06/2012.

SMART RADIO Tecnologia em Rádio Comunicação. Manual de instalação e uso MultiPROG 2. Fonte: <http://smartradio.com.br/website/pag/downloads/multiprog/Manual%20MultiPROG2.pdf>. Acessado em 29/05/2012

SOARES, Márcio J. Microcontroladores PIC – Controle PWM com PIC- Prática- Fonte: http://www.arnerobotics.com.br/eletronica/Microcontrolador_PIC_pratica_1.htm. Acessado em 10/05/2012.

SOUZA, D. J. de; LAVINIA, N. C. Conectando o PIC 16F877A: Recursos Avançados. 2ª. Ed. São Paulo: Érica, 2005.

SOUZA, João Paulo, 2003. Programação em C e Assembly. Fonte: <http://paginas.fe.up.pt/~jms/SUC/AulaLab3.pdf>. Acessado 30/05/2012.

TOLEDO, Beatriz Guimarães. Integração de Iluminação Natural e Artificial: Métodos e Guia prático para projeto Luminotécnico. UNB, Brasília, 2008. Fonte: <http://vsites.unb.br/fau/qualilumi/arquivos/Beatriz.pdf>.

UTILUX. Funcionamento do Led. 2012. Fonte: <http://www.akarilampadas.com.br/aplicacoes/led-como-funciona.php>. Acessado em 02/06/2012.

WENDLING, Marcelo, Sensores. Versão 2.0. UNESP Campus Guaratinguetá, 2010. Fonte: http://www.feg.unesp.br/~jmarcelo/restrito/arquivos_downloads/apostilas/eb2/sens.pdf. Acessado em 14/09/2011.

WERNECK, Pedro. Introdução ao Arduino. Saber Eletrônica. Fonte: <http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1307>. Acessado em 07/10/2011.

ZELENOVSKY, R. e MENDONÇA, A. Microcontroladores: programação e projeto com a família 8051. Rio de Janeiro: MZ Editora, 2005.

CAPÍTULO 8 – APÊNDICES

APÊNDICE A – Ajuste de Curvas

O método de Ajuste de Curvas é utilizado para encontrar uma curva que se ajuste a uma série de pontos. É muito utilizado para fazer extrapolações a partir de dados conhecidos, como é o caso deste projeto, onde foram obtidas medições relacionadas à tensão, iluminamento e resistência durante os testes. A partir destes dados é possível fazer projeções para dados não obtidos durante os testes, como por exemplo, tensões inferiores a 60V. A idéia é ajustar uma curva que melhor se ajusta aos dados disponíveis. Através da equação da curva, pode-se determinar valores fora do intervalo conhecido.

A.1– Ajuste de Curvas pelo método dos quadrados mínimos

Através dos dados coletados no teste obtivemos uma tabela de pontos relacionando a tensão, com o iluminamento e a resistência. Com os pontos (x_i, y_i) conhecidos experimentalmente é possível determinar a expressão analítica da curva $y = f(x)$, utilizando o método dos quadrados mínimos para o ajuste de curvas.

A.2– Ajuste a uma Reta

Inicialmente é necessário ajustar o conjunto de pontos obtidos a uma reta $y = a + bx$, sendo a e b parâmetros a serem determinados. O objetivo é minimizar a distância de cada ponto (x_i, y_i) da tabela obtido nos testes a cada ponto $(x_i; a + bx_i)$ da reta, conforme ilustra a figura A.1.

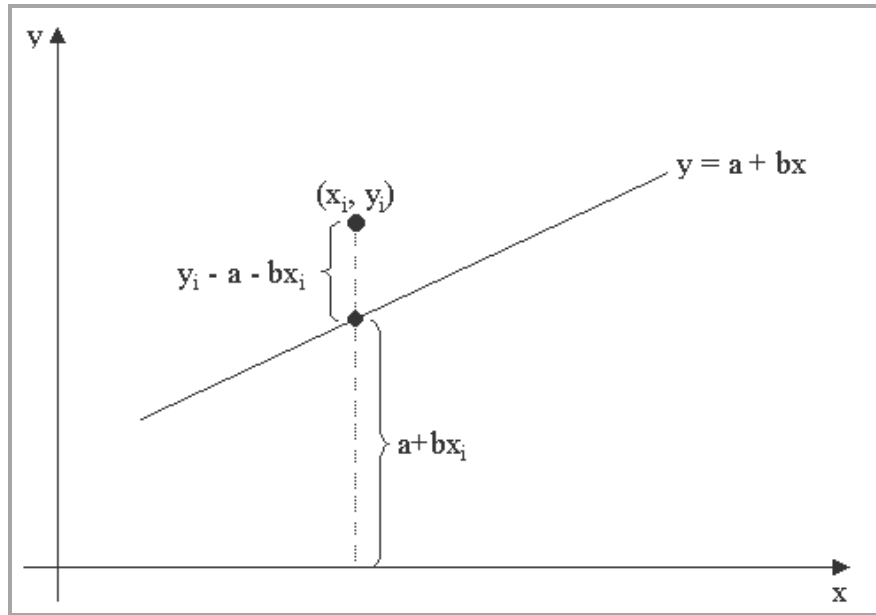


Figura A.1 - Distância de um ponto (x_i, y_i) à reta $y = a + bx$ (SOUZA).

A distância entre os pontos experimentais e a reta $y = a + bx$ é $|y_i - a - bx_i|$ e a soma dos quadrados dessas distâncias é:

$$q = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

Equação A.1 – Soma dos quadrados entre pontos experimentais e a reta $y = a + bx$.

Os pontos de mínimo dessa função são aqueles os quais as derivadas parciais de q em relação a cada um de seus parâmetros (a, b) são nulas. Ou seja:

$$\frac{\partial q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0$$

Equação A.2 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “a”.

$$\frac{\partial q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - a - bx_i) = 0$$

Equação A.3– Derivada Parcial em relação ao parâmetro “b”.

Calculando $\frac{\partial q}{\partial a}$, tem-se:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) &= \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a - \sum_{i=1}^n bx_i \\ &= \sum_{i=1}^n y_i - na - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)b\end{aligned}$$

Equação A.4 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “a” com somatórios.

Agora $\frac{\partial Q}{\partial b}$:

$$\sum_{i=1}^n x_i (y_i - a - bx_i) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a - \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)b$$

Equação A.5 – Derivada Parcial em relação ao parâmetro “b” com somatórios.

Obtendo então o seguinte sistema de equações, chamado de equações normais cujas incógnitas são os parâmetros a e b da equação $y = a + bx$:

$$\begin{cases} na + \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)b = \sum_{i=1}^n y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases}$$

Equação A.6 – Sistema de equações com as derivadas parciais.

Por fim foi ajustado o conjunto de pontos (x_i, y_i) do experimento a uma hipérbole, para determinar o y_i do sistema, onde:

$$y_i = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 x}$$

Equação A.7 – Função de ajuste a uma Hipérbole.

Para resolver esta equação, foi definido que:

$$z = \frac{1}{y} = \alpha_1 + \alpha_2 x$$

Equação A.8 – Inverso da função de ajuste a uma Hipérbole.

A.3– Ajustando os dados experimentais utilizando o método dos quadrados mínimos ajustado a uma hipérbole.

Utilizando os pontos obtidos através da relação entre tensão *versus* resistência da tabela 4, referente ao LDR pequeno, é possível observar na Figura A.2 a curva dos pontos experimentais.

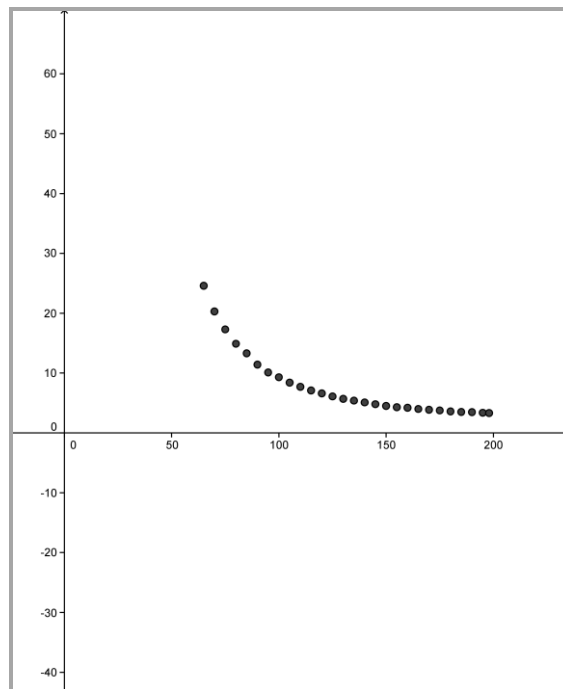


Figura A.2 - Gráfico dos pontos tensão *versus* resistência

Para determinar a função $y = f(x)$ desta curva foi utilizado o método dos quadrados mínimos, definindo os pontos a e b do sistema de equações:

$$\begin{cases} na + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) b = \sum_{i=1}^n y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases}$$

Equação A.9 – Sistema de equações com as derivadas parciais.

Neste exemplo tem-se que x_i refere-se à tensão experimental e y_i é inverso da resistência, por estar sendo ajustada a uma hipérbole, sendo então: $\frac{1}{y}$, onde y simboliza a resistência experimental.

Com os dados obtidos nos testes é possível definir os somatórios do sistema de equações, através dos valores informados na Tabela 4. Tem-se que: n = número de dados colhidos = 29.

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^n x_i &= 3768 \\ \sum_{i=1}^n y_i &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{y} = 4,972292372780494 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 &= 540054 \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i &= 747,389480441389\end{aligned}$$

Equação A.10 – Somatórios dos dados experimentais.

Eliminando então as variáveis do sistema, obtém-se:

$$\begin{cases} 29a + 3768b = 4,972292372780494 \\ 3768a + 540054b = 747,389480441389 \end{cases}$$

Equação A.11 – Sistema de equações com os somatórios dos dados experimentais.

Utilizando o software Maxima, é possível resolver este sistema de forma prática, definindo-se assim, que $a = -0,089399054978896$ e $b = 0,002007660554027$. A figura A.3 ilustra como foram feitos os cálculos no software mencionado.

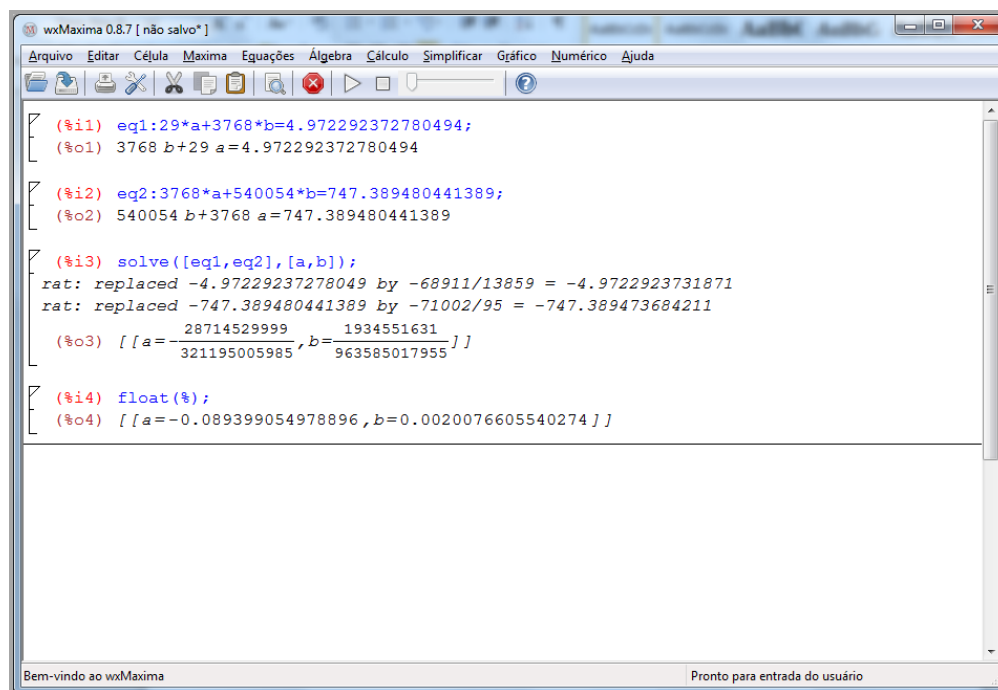


Figura A.3 Resolução do sistema de equações utilizando o software Maxima

Por fim ajustada a uma hipérbole no software GeoGebra, através da função:

$$y_i = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 x}$$

Equação A.12 – Função de ajuste a uma Hipérbole.

onde $\alpha_1 = a$ e $\alpha_2 = b$, é obtida a função da curva dos dados experimentais, sendo ela:

$$y_i = \frac{1}{-(0,089399054978896) + 0,002007660554027x}$$

Equação A.13 – Função de relação entre tensão *versus* resistência.

A curva é representada conforme ilustra a Figura A.4.

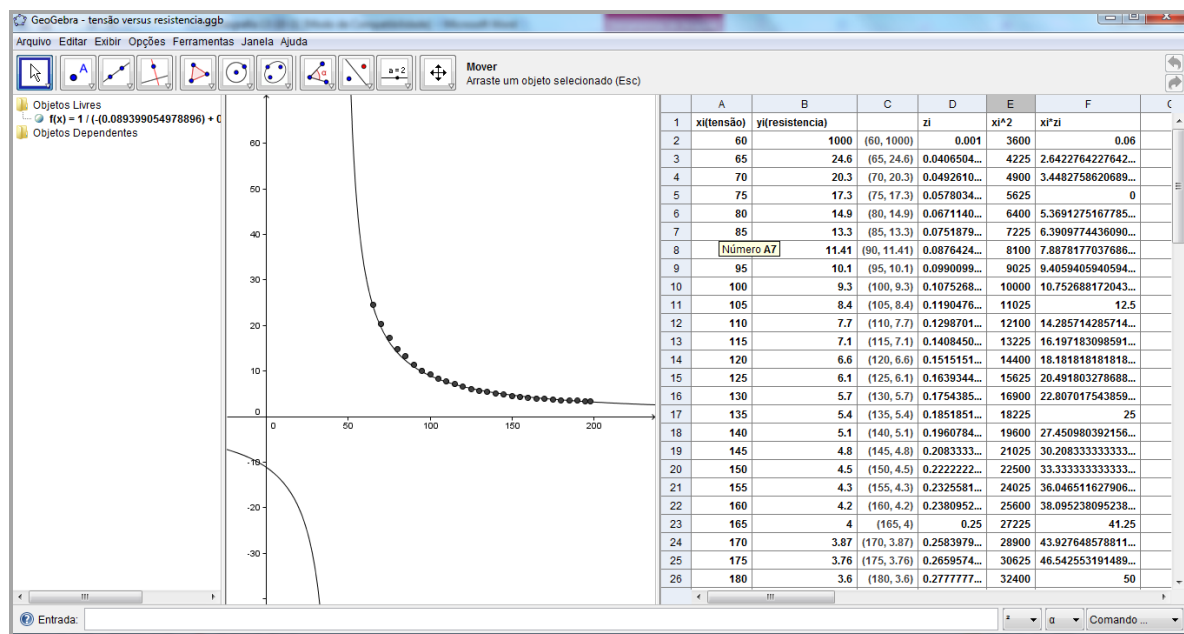


Figura A.4 - Ajuste da curva entre tensão *versus* resistência utilizando o software GeoGebra

Observa-se que a curva tende a passar por todos os pontos experimentais e através da função é possível estabelecer pontos não definidos durante o experimento.

Este procedimento foi realizado para os três tipos de LDR: pequeno, médio e grande, a fim de definir qual curva seria mais fiel aos pontos experimentais. Sendo assim, foram caracterizadas as curvas de cada sensor, com respeito à variação entre tensão (V) *versus* iluminamento (Lux), resistência (Ω) *versus* iluminamento (Lux) e tensão (V) *versus* resistência (Ω).

As figuras a seguir ilustram as curvas para o LDR pequeno.

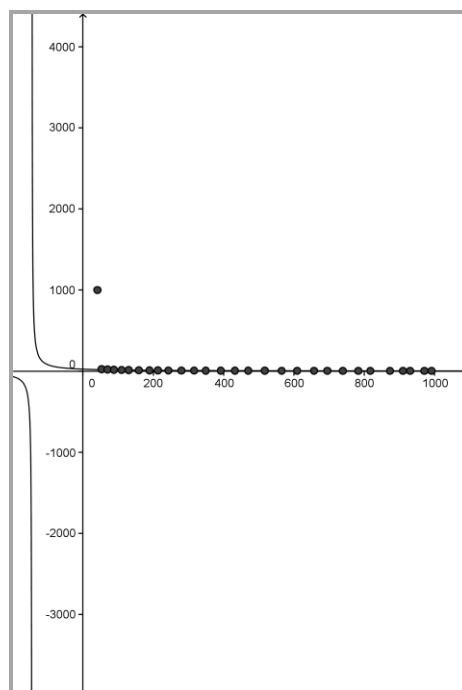


Figura A.5 - Curva de iluminamento *versus* resistência LDR pequeno

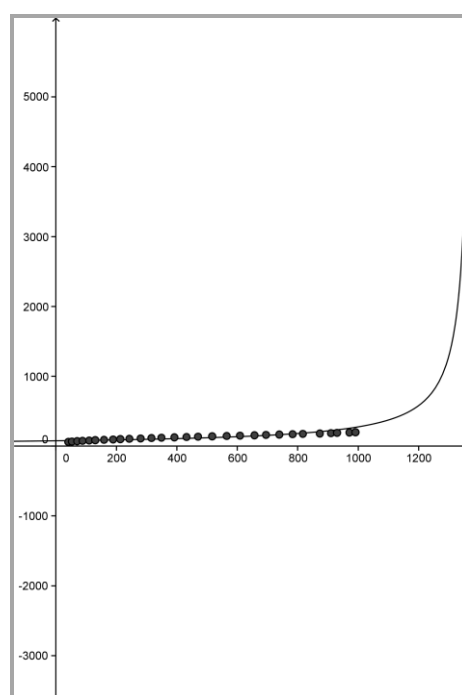


Figura A.6 - Curva de iluminamento *versus* tensão LDR pequeno

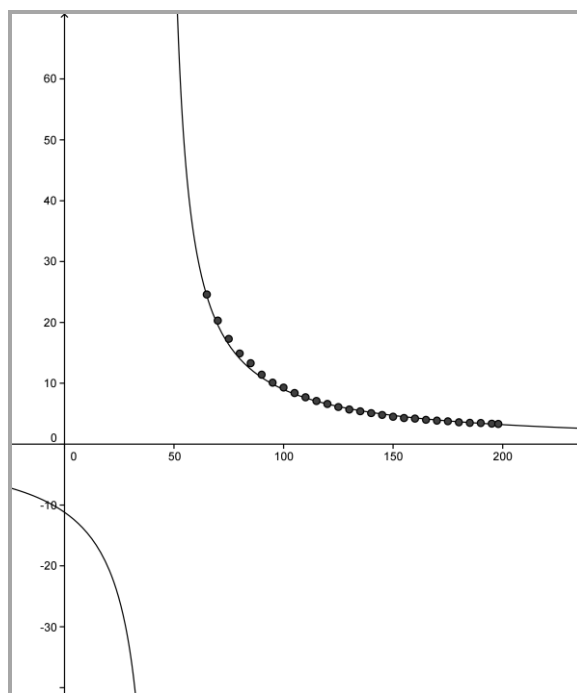


Figura A.7 - Curva de tensão *versus* resistência_LDR pequeno

Utilizando os dados experimentais do LDR médio foram obtidas as curvas como ilustram as figuras a seguir.

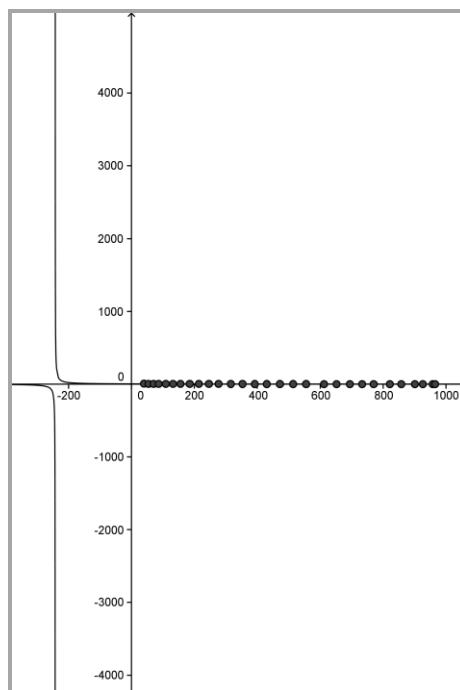


Figura A.8 - Curva de iluminação *versus* resistência LDR médio

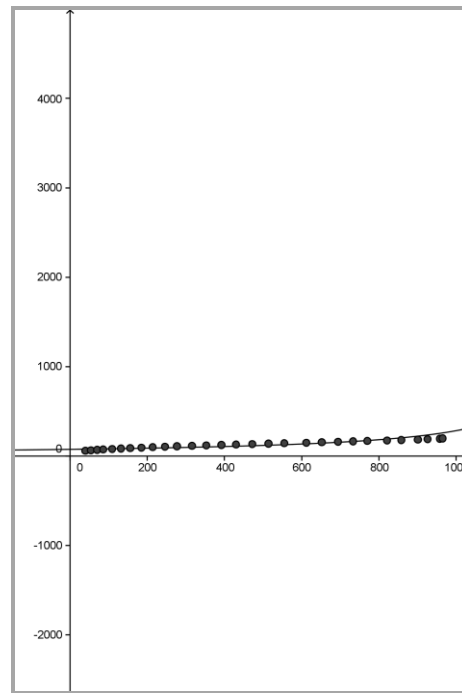


Figura A.9 - Curva de iluminação *versus* tensão LDR médio

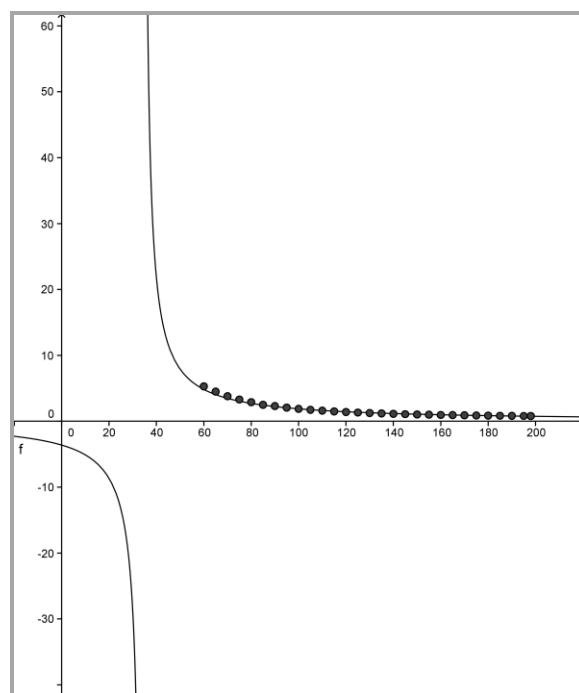


Figura A.10 - Curva de tensão *versus* resistência LDR médio

As figuras a seguir ilustram as curvas para o LDR grande.

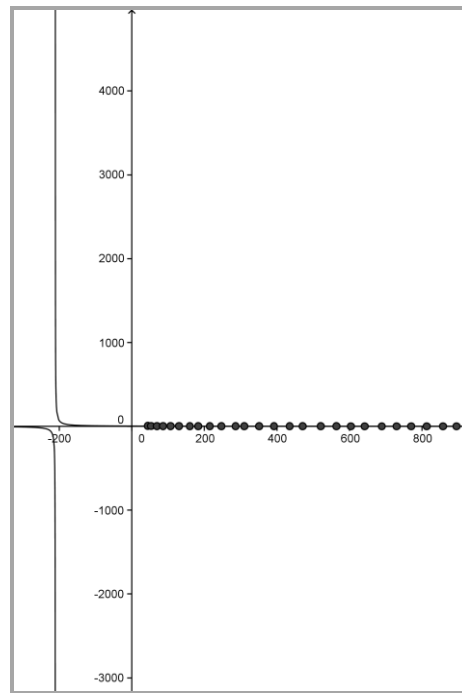


Figura A.11 - Curva de iluminamento *versus* resistência LDR grande

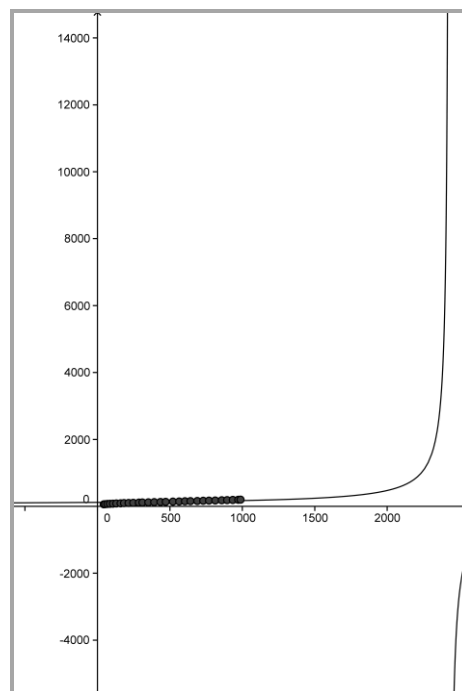


Figura A.12 - Curva de iluminamento *versus* tensão LDR grande

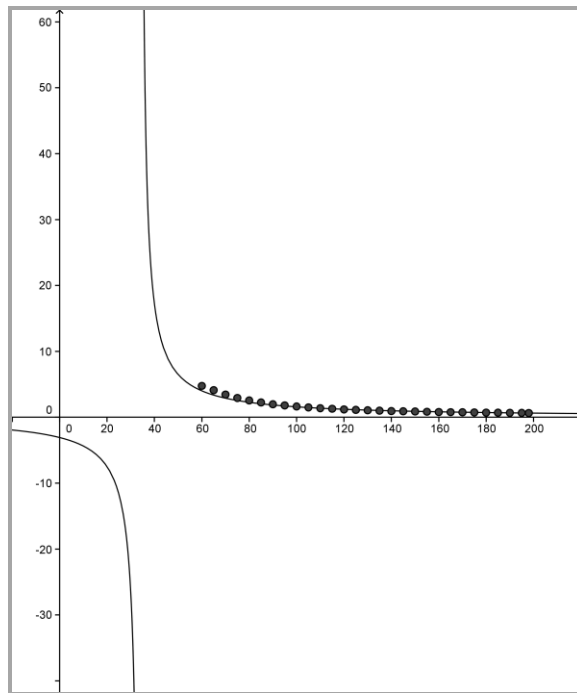


Figura A.13 - Curva de tensão *versus* resistência LDR grande

A.4– Funções obtidas

As funções de curva dos dados experimentais são descritas aqui, de acordo com o tamanho do LDR, e as grandezas relacionadas, como pode ser observado a seguir.

- LDR pequeno:

- iluminamento *versus* resistência

$$y_i = \frac{1}{0.040530135291036 + 0.000279349503366 x}$$

Equação A.14 – Função de relação entre iluminamento *versus* resistência LDR pequeno.

- iluminamento *versus* tensão

$$y_i = \frac{1}{0.013140599758267 - 0.000009512489163 x}$$

Equação A.15 – Função de relação entre iluminamento *versus* tensão LDR pequeno.

- tensão *versus* resistência

$$y_i = \frac{1}{-(0.089399054978896) + 0.002007660554027 x}$$

Equação A.16 – Função de relação entre tensão *versus* resistência LDR pequeno.

- LDR médio:

- iluminamento *versus* resistência

$$y_i = \frac{1}{0.26422143563631 + 0.001089975935075 x}$$

Equação A.17 – Função de relação entre iluminamento *versus* resistência LDR médio.

- iluminamento *versus* tensão

$$y_i = \frac{1}{0.013176550495953 - 0.000009660983181 x}$$

Equação A.18 – Função de relação entre iluminamento *versus* tensão LDR médio.

- tensão *versus* resistência

$$y_i = \frac{1}{-(0.2768) + 0.008066 x}$$

Equação A.19 – Função de relação entre tensão *versus* resistência LDR médio.

- LDR grande:

- iluminamento *versus* resistência

$$y_i = \frac{1}{0.28637804713937 + 0.001357785436476 x}$$

Equação A.20 – Função de relação entre iluminamento *versus* resistência LDR grande.

- iluminamento *versus* tensão

$$y_i = \frac{1}{0.013158269978439 - 0.000009 * 0.601759678183441 (x + 0.971700843906319)} + 42.01204$$

Equação A.21 – Função de relação entre iluminamento *versus* tensão LDR grande.

- tensão *versus* resistência

$$y_i = \frac{1}{-(0.32507524182225) + 0.009577507084822 x}$$

Equação A.22 – Função de relação entre tensão *versus* resistência LDR grande.

APÊNDICE B – Código do programa

```
//Início das conexões com display LCD
sbit LCD_RS at RB4_bit;
sbit LCD_EN at RB5_bit;
sbit LCD_D4 at RB0_bit;
sbit LCD_D5 at RB1_bit;
sbit LCD_D6 at RB2_bit;
sbit LCD_D7 at RB3_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;
// Fim das conexões com o display LCD
void main() {      //Função principal
    long int dif=0, ilum = 200, time = 0, valor = 0 ; // Inicializa as variáveis inteiras
    dif,ilum,time, valor
    float i= 255;      //Inicializa a variável do tipo flutuante i, com valor máximo da modulação
    unsigned long Radc, Ldr;    //Inicializa as variáveis Radc, Ldr
    char Text[16],Text2[16],Text3[16];
    ADCON1=0x06;    // Configura todas entradas e saídas para digital
    PORTC = 00;    //Associa saída de sinal nas portas C
    TRISC = 0;    //Associa entrada de sinal nas portas C - sensor LDR
    TRISB = 0;    //Associa entrada de sinal nas portas B - botão de configuração
    Pwm1_Init(5000); //Configura o módulo PWM com a frequência de 5KHz
    Pwm1_Start();    //Início do sinal PWM
    Lcd_init();    //Inicializa Display LCD
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpa Display LCD
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Desliga Cursos
```


//Loop para mensagem de Máximo = 1200 e Mínimo = 200 de iluminação que pode ser escolhido

```
while(time<=300){  
  Lcd_Out( 1, 1, "Escolha o iluminamento:");  
  Lcd_Out( 2, 1, "Min-200 Max-1200");  
  if(portb.rb6==0){  
    break;}  
  else{  
    time++;}  
}
```

//Fim do Loop

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpa Display LCD

do{ //Loop infinito

```
  if(portb.rb6==1&&ilum<1200){ //Escolha do iluminamento  
    ilum = ilum + 100;  
    delay_ms(100);  
  }
```

```
  else{  
    if(portb.rb6==1&&ilum==1200){  
      ilum = 100;  
      delay_ms(100);  
    }  
  }
```

//Se botão for apertado, sai do módulo escolha do iluminamento

//Associa o iluminamento desejado com a leitura do LDR, valores pré-ajustados

```
switch(ilum){  
  case 200: {  
    valor=3460;  
    break;}  
  case 300: {  
    valor=2583;  
    break;}  
  case 400: {  
    valor=2120;
```

```

        break;}
    case 500: {
        valor=1840;
        break;}
    case 600: {
        valor=1651;
        break;}
    case 700: {
        valor=1494;
        break;}
    case 800: {
        valor=1366;
        break;}
    case 900: {
        valor=1278;
        break;}
    case 1000: {
        valor=1204;
        break;}
    case 1100: {
        valor=1131;
        break;}
    case 1200: {
        valor=1071;
        break;}
    }

    Radc=ADC_Read(0); //Leitura da porta C - LDR
    Ldr = (Radc*48.87585533)/(5.0-Radc*0.004887585); //Conversão do sinal analógico em
digital
    LongToStr( ilum, Text ); // Converte valor escolhido pelo usuário, em texto
    LongToStr( i, Text2 ); // Converte valor de incremento do PWM em texto
    Lcd_Out( 1, 1, Text); //Informa na primeira coluna do Display LCD o valor lido pelo
LDR

```

```

delay_ms(100);          //Retardo de 100 ms
Lcd_Out( 2, 1, Text2);   //Informa na segunda coluna do Display LCD o valor do
incremento do módulo PWM
delay_ms(100);          //Retardo de 100 ms
dif = Ldr-valor;         //Cálculo entre a subtração da leitura com o valor escolhido pelo
usuário
if(Ldr<=820){           //Se a resistência do Ldr estiver igual ou abaixo de 820 (ambiente
muito iluminado)
    Pwm1_Set_Duty(0);    //Desliga a lâmpada
    delay_ms(10);        //Retardo de 10 ms
}
else{                   //Caso contrário se a resistência estiver maior do que 820
    if(dif>0&&i<255){    //Se diferença entre a leitura do LDR e o iluminamento desejado
for maior que zero e i for menor que 255
        i= i + 0.50;     //incrementa o valor de i
        Pwm1_Set_Duty(i); //Designa o valor i no PWM
        delay_ms(10);}   //Retardo de 10 ms
    else{
        if(dif>0&&i==255){ //Se o i for 255
            Pwm1_Set_Duty(i); //Designa o valor 255 ao módulo PWM
            delay_ms(10);}  //Retardo de 10 ms
        else {
            if(dif<0&&i>0){ //Se a diferença entre a leitura do LDR e o iluminamento
desejado, for menor que 0 e i diferente de 0
                i= i- 0.50; //decrementa o valor i
                Pwm1_Set_Duty(i); //Designa o valor i no PWM
                delay_ms(10); //Retardo de 10 ms
            }
        }
    }
}
while(1);}

```